

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут енергозбереження та енергоменеджменту**

**Кафедра електропостачання**

«На правах рукопису»  
УДК 620.91+621.31

«До захисту допущено»

Науковий керівник кафедри

\_\_\_\_\_ С.П. Денисюк

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
спеціалізації Енергетичний менеджмент та енергоефективність**

**на тему: «Сценарний аналіз поведінки споживачів в умовах лібералізації  
ринку електричної енергії»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ОН-61м

Далібожак Іван Іванович

\_\_\_\_\_

Керівник:

к. ф.-м. н., доц. Стрелкова Г.Г.

\_\_\_\_\_

Консультант з нормоконтролю:

ас. Прокопенко І.Д.

\_\_\_\_\_

Рецензент:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ініціали

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студент \_\_\_\_\_

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Інститут енергозбереження та енергоменеджменту**  
**Кафедра електропостачання**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та енергоефективність»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Науковий керівник кафедри

\_\_\_\_\_ С.П. Денисюк

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**

**Далібожак Іван Іванович**

1. Тема дисертації «Сценарний аналіз поведінки споживачів в умовах лібералізації ринку електричної енергії»

науковий керівник дисертації к.ф.-м.н., доцент Стрелкова Г.Г.

затверджені наказом по університету від «20» березня 2018 р. №971-с

2. Термін подання студентом дисертації «18» травня 2018 року

3. Об'єкт дослідження Режими роботи споживача електроенергії в ринкових умовах

4. **Вихідні дані**

5. Перелік завдань, які потрібно розробити огляд сучасних тенденцій у світовому електроенергетичному секторі та концепції управління попитом; вибір методів аналізу зміни попиту; дослідження режимів роботи споживачів; формулювання та оцінка сценаріїв поведінки споживачів; визначення впливу зміни поведінки споживачів на криву електроспоживання

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу світові тенденції ринку електроенергетики; методи керування попитом; ринок електромобілів; особливості графіку добового навантаження; методи прогнозування; статистичні методи; модельовані графіки навантаження домогосподарств; карта сонячної інсоляції

7. Орієнтовний перелік публікацій «Аналіз розвитку відновлюваної енергетики в Україні»; «Сучасний стан розвитку відновлюваної енергетики України в сфері електрогенерації»; «Регіональний розвиток відновлюваної енергетики в Україні»

8. Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль

ас. Прокопенко І.Д.

9. Дата видачі завдання 12 березня 2018 року

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд світових тенденцій у сфері енергетики	13.03.2018-25.03.2018	
2	Ознайомлення з іноземними та вітчизняними науково-інформаційними джерелами за спеціалізацією, обрання наукової проблематики	26.03.2018-4.04.2018	
3	Ознайомлення зі світовими практиками програм керування попитом	5.04.2018-13.04.2018	
4	Аналіз методів оцінки впливу програм реагування попитом	14.04.2018-20.04.2018	
5	Дослідження використання теорії ігор для прогнозу попиту на електроенергію	21.04.2018-24.04.2018	
6	Моделювання сценаріїв поведінки споживачів	25.04.2018-3.05.2018	
7	Розробка стартап-проекту	4.05.2018-9.05.2018	
8	Оформлення магістерської дисертації	10.05.2018-18.05.2018	

Студент

*І.І. Далібожак*

Науковий керівник дисертації

*Г.Г. Стрелкова*

## РЕФЕРАТ

Дисертація містить 82 сторінки, 27 рисунків, 20 таблиць, 3 додатки та 23 джерела за переліком посилань.

**Актуальність теми.** Споживання електричної енергії населенням займає значну частину загального електроспоживання, тому ця категорія споживачів має значний вплив на криву електронавантаження.

Необхідно змоделювати можливі сценарії поведінки споживачів для узгодження попиту та пропозиції на лібералізованому ринку. Проблемним питанням є добовий графік електричного навантаження, а саме його піки та провали. Так як помітна тенденція зростання тарифів на електроенергію, споживачі будуть шукати нові можливості зменшення плати.

В майбутньому для ефективного розподілу потоків електроенергії та вирівнювання графіка може бути використана концепція 'SMART-grid'. Домогосподарство може розглядатися як активний споживач, тобто той що може як купляти енергію, так і продавати, наприклад, згенеровану за допомогою сонячних панелей чи накопичену в акумуляторах.

**Мета дослідження.** Вдосконалення підходів до оцінки реагування попиту споживачів для підвищення ефективності ринку.

**Завдання дослідження.** В роботі виконано огляд сучасних тенденцій у світовому електроенергетичному секторі та концепцій управління попитом, здійснено вибір методів аналізу зміни попиту, досліджено режими роботи споживачів, сформульовано та оцінено сценарії поведінки споживачів, визначено вплив зміни поведінки споживачів на криву електроспоживання.

**Об'єкт дослідження.** Режими роботи споживача електроенергії в ринкових умовах.

**Предмет дослідження.** Оцінка реакції попиту на зміну цінового сигналу на конкурентному ринку електроенергії.

**Методи дослідження.** В магістерській дисертації було використано наступні методи:

- системний підхід розгляду проблем;
- сценарний аналіз поведінки споживачів електричної енергії;
- порівняльний аналіз різних сценаріїв;
- комп’ютерне моделювання попиту (в середовищі MATLAB);
- SWOT-аналіз стартап-проекту;
- елементи теорії ймовірності.

**Обґрунтування наукової новизни.** Запропоновано метод прогнозування електричного споживання домогосподарствами на основі принципів нормального закону розподілу з теорії ймовірності. Даний метод можна вважати удосконаленням методів прогнозування навантаження.

**Практичне значення.** Отримана модель для прогнозу величини електричного навантаження може бути використана операторами систем розподілу електроенергії для прогнозування попиту.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали роботи представлено в тезах:

Сучасний стан розвитку відновлюваної енергетики України в сфері електрогенерації / Стрелкова Г.Г., Далібожак І.І., Андрушков О.В., Іщенко О.С., // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REIMS’17: IV Міжнар. наук.-практ. та навч.-метод. конф., 25.04-27.04.2017 р.: матеріали конф. – К.: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2017.- С. 120-121

**Ключові слова:** ціноутворення, попит на електроенергію, керування попитом, сценарний аналіз, ймовірнісний аналіз, енергоспоживання домогосподарств, електромобілі, акумуляція електричної енергії, пікове навантаження, покриття піку, графік споживання електричної енергії.

## ABSTRACT

Master thesis includes 82 pages, 27 figures, 20 tables, 3 additions and 23 references.

**Actuality of the topic.** The consumption of electric energy by the population has a significant part of the total electricity consumption. That is why, this category of consumers has a significant impact on the electrical load profile.

It is necessary to simulate possible scenarios of consumer behavior to match demand and supply on a liberalized electricity market. The problem issues is daily electric load profile with its peaks and lowest points. As there is tendency of increasing of electricity tariffs, consumers will be looking for new ways to reduce their fees.

In the future, the 'SMART-grid' concept can be used to effectively regulate electricity flows and align the load graph. A household can be considered as active consumer, which can both buy energy and sell, for example, generated by solar panels or accumulated in the batteries.

**Purpose of the study.** Improving approaches for evaluating consumer demand response in order to improve electricity market efficiency.

**Objectives of the study.** An overview of current trends in the world electricity sector and demand management concepts was made, the choice of methods for analyzing demand changes was done, consuming schedules were studied, consumer behavior scenarios were formulated and evaluated, and the influence of consumer behavior change on the consumption load profile was determined.

**Subject of study.** Assessment of the demand response to change of the price signal in a competitive electricity market.

**Research methods.** In the master thesis the following methods were used:

- systematic approach to problem solving;
- scenario analysis of electric energy consumer behavior;
- comparative analysis of different scenarios;

- computer simulation of electricity demand (in the MATLAB program environment);
- SWOT-analysis of the startup project;
- probability theory elements.

**Substantiation of scientific novelty.** The method of prediction of electric consumption by households based on the principles of the normal distribution law on probability theory is proposed. This method can be considered an improvement in the methods of prediction of the load.

**Practical meaning.** The obtained model for the forecasting electric load can be used by operators of power distribution systems for planning electricity demand.

**Approbation of the results.** Materials of the study were presented in theses:

Current state of development of renewable energy in Ukraine in the field of electric power generation / Strelkova H.H., Dalibozhak I.I., Andrushkov O.V., Ishchenko O.S. // Energy management: state and development prospects - PEMS'17: IV International . science-practice and teaching method. Conf., 25.04-27.04.2017: materials conf. - K .: NTUU " Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2017.- P. 120-121

**Key words:** pricing, electricity demand, demand side management, scenario analysis, probability analysis, household energy consumption, electric vehicles, electric energy accumulation, peak load, cover of peak load, electric energy consumption profile.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 КОНЦЕПЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ НА БОЦІ КІНЦЕВОГО СПОЖИВАЧА В РИНКОВИХ УМОВАХ .....	13
1.1.Сучасні тенденції в світовому електроенергетичному секторі .....	13
1.2 Характеристика довгострокових та короткострокових програм управління попитом на електроенергію .....	18
1.3 Класифікація програм реагування попиту .....	20
1.4 Участь кінцевих споживачів в управлінні попитом на електроенергію ...	26
1.6 Світовий досвід дослідження концепції керування попитом .....	32
2 МЕТОДОЛОГІЯ ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ПРОГРАМИ РЕАГУВАННЯ ПОПИТУ НА КРИВУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ .....	34
2.1 Основні методологічні підходи проведення аналізу .....	34
2.1.1 Системний підхід.....	34
2.1.2 Сценарний аналіз.....	35
2.1.3 Порівняльний аналіз.....	39
2.2 Методи прогнозування.....	39
2.3 SWOT-аналіз.....	41
2.4 Застосування інструментів програмного забезпечення .....	42
2.5 Статистичні методи.....	43
2.5.1 Біноміальний розподіл .....	43
2.5.2 Закон розподілу Пуассона.....	44
2.5.3 Гіпергеометричний розподіл .....	45
2.5.4 Рівномірний закон розподілу .....	46
2.5.5 Нормальний закон розподілу .....	47
3 МЕТОДИ КЕРУВАННЯ ПОПИТОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ІГОР ..	51
3.1 Концепція інформаційно-телекомунікаційних технологій та смарт-лічильники .....	51
3.2 Динамічне ціноутворення .....	52



3.3 Планування роботи приладів та управління ними .....	54
3.4 Концепції теорії ігор та математична модель .....	55
4. МОДЕЛЮВАННЯ ЙМОВІРІСНОГО ЕФЕКТУ ВПЛИВУ ПРОГРАМ РЕАГУВАННЯ ПОПИТУ НА КРИВУ ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕННЯ .....	58
4.1 Реакція попиту на зміну цінового сигналу на конкурентному ринку електроенергії.....	58
4.2 Модель реагування попиту за наявної можливості накопичення енергії .	62
4.3 Аналіз ймовірнісного впливу виробництва електроенергії ВДЕ на реагування попиту на електроенергію .....	66
5 ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ В СФЕРІ РЕАГУВАННЯ ПОПИТУ НА ЗМІНУ ЦІНОВОГО СИГНАЛУ (СТАРТАП-ПРОЕКТ). .....	71
5.1 Опис ідеї проекту .....	71
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	74
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	75
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	78
5.5 Маркетингова програма стартап-проекту .....	79
ВИСНОВКИ .....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	86
ДОДАТКИ .....	88
Додаток А .....	88
Додаток Б .....	90
Додаток В.....	94

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Стабільна електрифікація протягом найближчих десятиліть є розповсюдженим рішенням для того щоб відмовитися від викопних видів палива. Наприклад, у транспорті звичайні автомобілі що працюють на пальному, можуть бути замінені електричними транспортними засобами, а для опалювальних цілей можна використовувати електричні теплові насоси чи конвектори.

Проте це збільшення споживання електроенергії створює проблеми для електричних мереж. Однією з цих проблем є те, що мережа має бути відповідного розміру, щоб забезпечити максимальний попит на електроенергію. Якщо споживання електроенергії зростає, то також можуть зрости піки енергоспоживання. Важливим напрямком управління попитом є зменшення цих піків шляхом переміщення споживання електроенергії з пікових періодів, де це можливо.

В той же час у світі простежується тенденція до переходу до лібералізованих ринків електроенергії. Таким чином як споживачі, так і виробники перейдуть на новий рівень відносин, що значно розширить можливості кожного з них як учасника ринку.

Навіть в Україні, з прийняттям закону «Про ринок електричної енергії» розпочався процес лібералізації даного ринку. Це досить складний процес, що може зайняти декілька років. Для реалізації поставленої мети необхідні значні правові, економічні, технічні та організаційні зміни.

Споживання електричної енергії населенням займає значну частину загального електроспоживання, тому ця категорія споживачів має значний вплив на криву електронавантаження.

Необхідно змоделювати можливі сценарії поведінки споживачів для узгодження попиту та пропозиції на лібералізованому ринку. Проблемним питанням є добовий графік електричного навантаження, а саме його піки та провали. Так як помітна тенденція зростання тарифів на електроенергію, споживачі будуть шукати нові можливості зменшення плати.

В майбутньому для ефективного розподілу потоків електроенергії та вирівнювання графіка може бути використана концепція ‘SMART-grid’. Домогосподарство може розглядатися як активний споживач, тобто той що може як купляти енергію, так і продавати, наприклад, згенеровану за допомогою сонячних панелей чи накопичену в акумуляторах. З цією метою можуть бути застосовані батареї електромобілів.

**Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Актуальність теми даного дослідження може бути підтверджена працями Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE), Antimo Barbato, Italo Atzeni, Zubair Md. Fadlullah, а також вітчизняними науковцями: М. Згуровським, В. Ліром, С. Денисюком.

**Мета дослідження:** вдосконалення підходів до оцінки реагування попиту споживачів для підвищення ефективності ринку.

**Завдання дослідження:**

- огляд сучасних тенденцій у світовому електроенергетичному секторі та концепцій управління попитом
- вибір методів аналізу зміни попиту
- дослідження режимів роботи споживачів
- формулювання та оцінка сценаріїв поведінки споживачів
- визначення впливу зміни поведінки споживачів на криву електроспоживання.

**Об’єкт дослідження:** режими роботи споживача електроенергії в ринкових умовах.

**Предмет дослідження:** оцінка реакції попиту на зміну цінового сигналу на конкурентному ринку електроенергії.

**Методи дослідження.** В магістерській дисертації було використано системний підхід розгляду проблем, проведено сценарний аналіз поведінки споживачів електричної енергії, порівняльний аналіз різних сценаріїв, використано методи прогнозування попиту, а саме – моделювання, проведено

SWOT-аналіз стартап-проекту, моделювання було виконано в програмному середовищі MATLAB, в ході роботи використано елементи теорії ймовірності.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Запропоновано метод прогнозування електричного споживання домогосподарствами на основі принципів нормального закону розподілу з теорії ймовірності. Даний метод можна вважати удосконаленням методів прогнозування навантаження.

На основі даного методу побудовано модель та показано сценарії поведінки групи домогосподарств. Отриманий спосіб прогнозування навантаження в подальшому може бути допрацьований та удосконалений з урахуванням особливостей кожного окремого домогосподарства та специфікою його графіку споживання.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримана модель для прогнозу величини електричного навантаження може бути використана операторами систем розподілу електроенергії після її узагальнення та внесення певних коректив.

**Апробація результатів дисертації та публікації.** На основі матеріалів, використаних в процесі дослідження було зроблено доповідь на IV-ій Міжнародній науково-технічній та навчально-методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS’ 17».

Матеріали роботи представлено в тезах:

Сучасний стан розвитку відновлюваної енергетики України в сфері електрогенерації / Стрелкова Г.Г., Далібожак І.І., Андрушков О.В., Іщенко О.С.,  
// Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS’17: IV Міжнар. наук.-практ. та навч.-метод. конф., 25.04-27.04.2017 р.: матеріали конф. – К.: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2017.- С. 120-121. (Додаток В)

# 1 КОНЦЕПЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ НА БОЦІ КІНЦЕВОГО СПОЖИВАЧА В РИНКОВИХ УМОВАХ

## 1.1. Сучасні тенденції в світовому електроенергетичному секторі

Електроенергія – це товар, попит на який зростає щоденно. Згідно з даними Міжнародної енергетичної агенції до 2040 року кількість спожитої електроенергії складе 40% (рисунок 1.1). Такі самі темпи росту продемонструвала нафта протягом останніх 25-ти років. Постійне збільшення обсягів електроенергії демонструють як країни Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD), так і ті що не входять до її списків (рисунок 1.2).

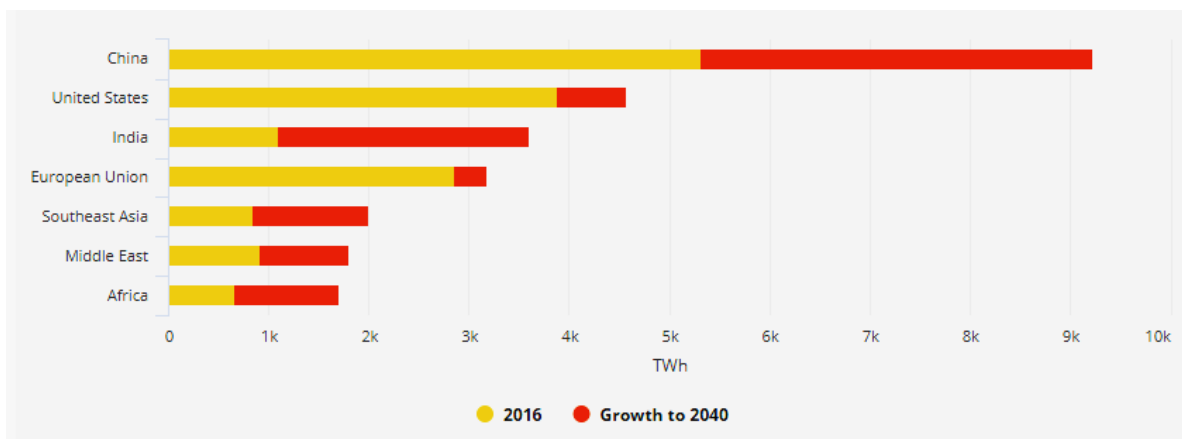


Рисунок 1.1 – Попит на електроенергію за регіонами [1]

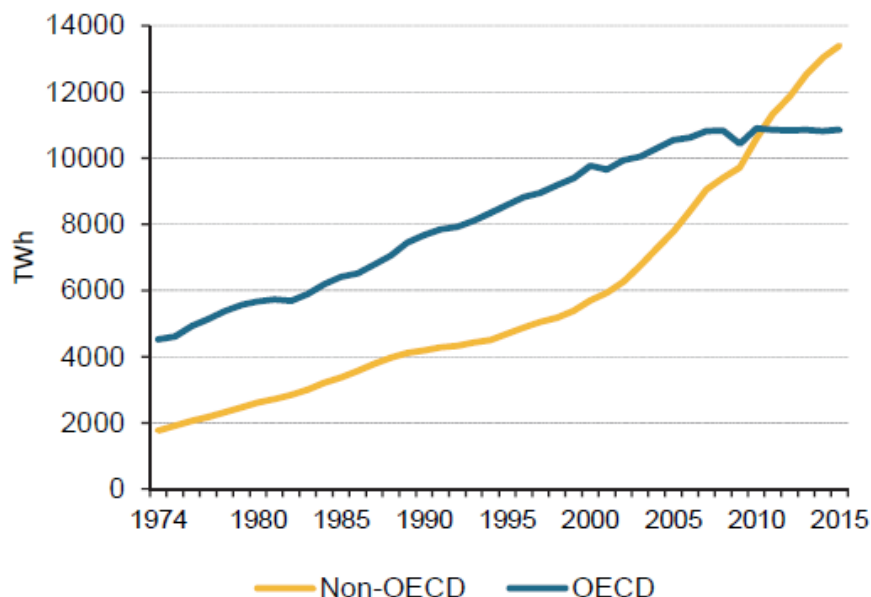


Рисунок 1.2 – Загальний виробіток електроенергії країнами [1]

Електрична енергіє дає ширші можливості для теплоенергетики та транспорту разом із зростанням традиційних галузей, що дозволяє збільшити частку кінцевого споживання майже на чверть. Просування ініціатив галузі та політична підтримка підштовхує зростання світового електротранспортного парку до 280 мільйонів до 2040 року, з сьогоднішніх 2 мільйонів (рисунок 1.3). Масштаб майбутніх потреб у електроенергії та виклик децентралізації енергопостачання пояснюють, чому в 2016 році глобальне інвестування в електроенергію перевищило інвестиції в нафту і газ і чому електроенергетична безпека стає пріоритетним питанням.

Зростаюче використання цифрових технологій у всій економіці покращує ефективність і полегшує гнучкість роботи енергетичних систем, але також створює потенційну нові проблеми, які потребують вирішення.

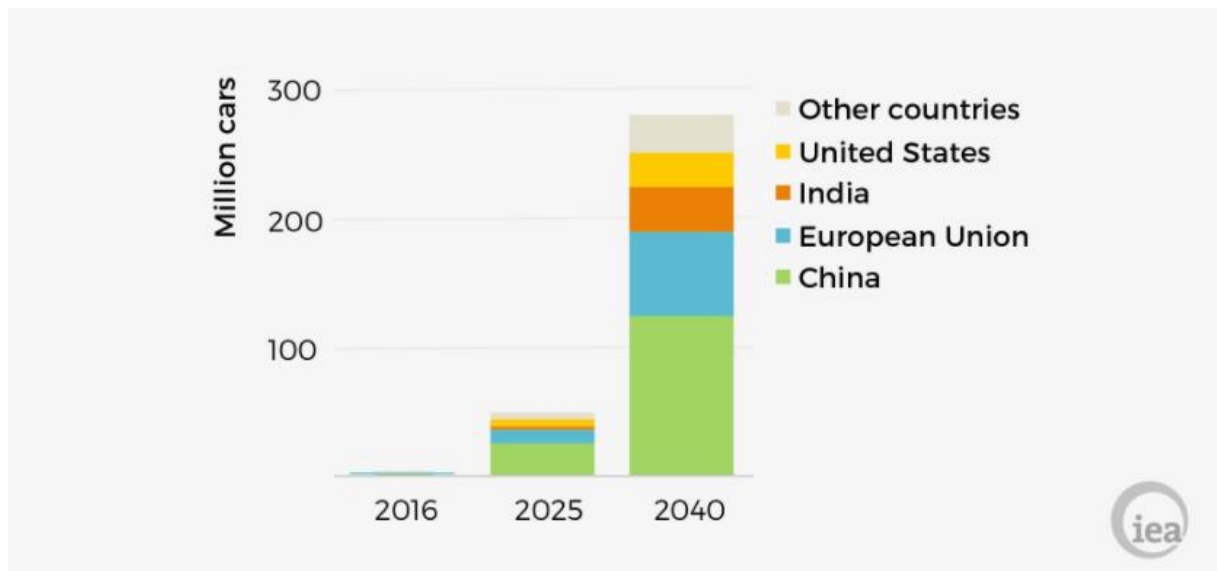


Рисунок 1.3 – Прогнозоване зростання кількості електромобілів [1]

Що стосується джерел генерації електричної енергії та палива що для цього використовується, тут також можна відзначити певні тенденції. Насамперед, помітно, що значною мірою електроенергія вироблялась з різних видів викопного палива, лише відносно нещодавно відновлювані джерела енергії позначилися на світовому енергетичному балансі (рисунки 1.4-1.5).

У період з 2015 по 2016 рр. відбулося зменшення електроенергії виробництва з викопного палива, четвертий рік поспіль прослідковується така

тенденція. Примітними типами викопного палива, використання яких знижується є це вугілля та нафта. Також спостерігалось зниження у виробництві ядерної електроенергії.

**Figure 4b: OECD gross electricity production, by source, 1974-2016p**

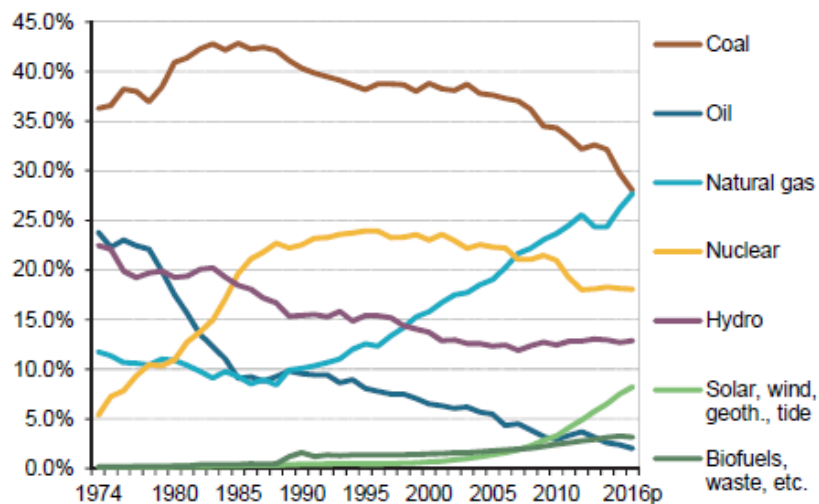


Рисунок 1.4 – Генерація електроенергії країн OECD за джерелами [1]

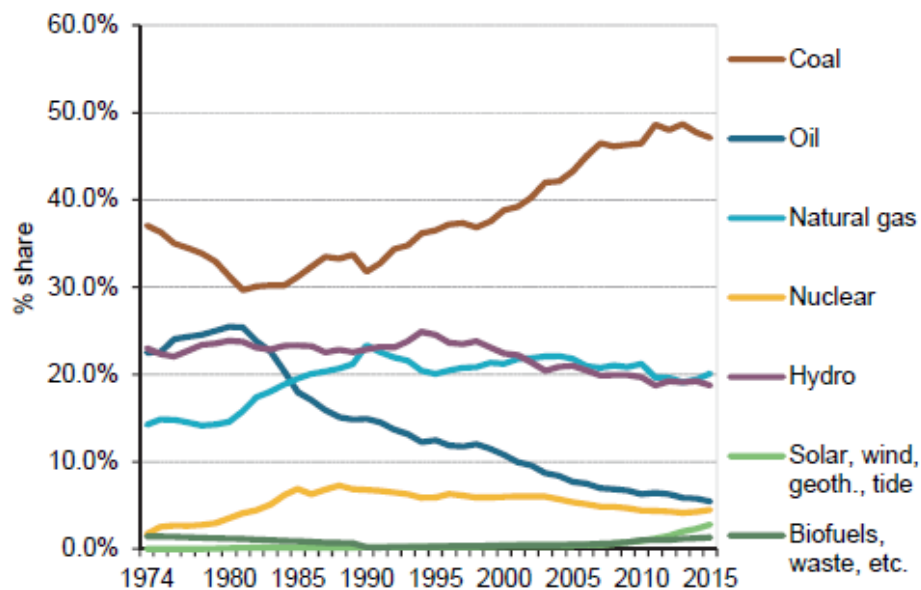


Рисунок 1.5 – Генерація електроенергії країн не членів OECD за джерелами [1]

Водночас, електроенергія з природного газу та з поновлюваних джерел, таких як вітер сонце демонструє стійкий ріст. Гідроелектроенергія збільшила показники генерації у 2016 році.

Світова економіка перебуває в процесі трансформації з метою мінімізації викидів парникових газів. Очікується, що електроенергія буде відігравати ключову роль у цій повільній трансформації викидів вуглецю. По-перше, більш ефективне використання електроенергії та збільшення частки електроенергії з відновлюваних джерел допоможуть зменшити викиди парникових газів. По-друге, частка електроенергії у загальному споживанні енергії, як очікується, зросте, особливо в транспортному секторі (електричні транспортні засоби), а також в системах опалення та охолодження (електричні теплові насоси). Така широкомасштабна електрифікація, у поєднанні з виробництвом електроенергії з низькими викидами CO<sub>2</sub>, розглядається як ключовий компонент для поетапного скорочення викидів парникових газів від викопного палива до другої половини нашого століття.

Здійснення всіх цих змін потребує значних інвестицій в генерацію електроенергії, її транспортування та розподіл, а також електропобутові товари. Виклик полягає в тому, як забезпечити ці інвестиції, зберігаючи доступ до електроенергії як домогосподарствам, так і енергоємним галузям. Більш того, інвестиції та інновації необхідні для забезпечення стабільності постачання електроенергії в умовах підвищеного попиту та зростаючої мінливості постачання відновлюваних джерел, що залежить від сонячного світла, вітру та кількості опадів.

Електричні ринки потребують реконструкції таким чином, щоб забезпечити підтримку цілей політики шляхом:

- заохочення інвестицій у гнучку низьковуглецеву генерацію електроенергії;
- заохочення інвестицій у стабільну та адаптовану мережу, яка відповідає зростаючій частці відновлюваних джерел енергії та новим використанням електроенергії;



- стимулювання використання енергоефективного обладнання та споживчих товарів;
- забезпечення доступної енергії для промисловості та домогосподарств.

Пропозиція (виробництво) електроенергії завжди повинно дорівнювати попиту на електроенергію (споживанню), інакше система знаходиться під ризиком. Традиційно «негнучкі генератори» використовуються для обслуговування базового навантаження (нормальний рівень споживання електроенергії), тоді як гнучкі генератори використовуються для задоволення максимального попиту. Збільшена частка змінного потенціалу, така як вітрова та сонячна енергетика означає, що для забезпечення попиту необхідна більш гнучка виробнича потужність, коли рівень виробництва зі змінних генераторів є низьким.

Щоб гарантувати безпеку постачання електроенергії, достатня потужність генерації повинна бути доступною для постійного задоволення попиту. Балансування пропозиції та попиту в короткостроковій перспективі здійснюється з використанням первинних резервів (активованих протягом секунд), вторинних резервів (активованих протягом декількох хвилин) та третинних резервів (активованих протягом 15 хвилин).

Проте енергетичні компанії можуть не бажати зберігати резервні електростанції, які використовуються лише у випадках пікового попиту. Більше того, генерація електроенергії з відновлюваних джерел, що має пріоритет у європейській мережі, виробляють все частіше електроенергію, яка обслуговує більшість або всі потреби, тим самим ускладнюючи традиційним джерелам генерації електроенергії заробляти гроші.

Керування попитом – альтернативний підхід до балансування попиту на електроенергію, що передбачає зменшення попиту на електроенергію в умовах дефіциту. Даний підхід залежить від ринків електроенергії, які стимулюють гнучкий попит за часовим варіантом ціноутворення та інфраструктури, такої як інтелектуальні мережі (SMART-grid) та «розумні лічильники».

## **1.2 Характеристика довгострокових та короткострокових програм управління попитом на електроенергію**

Електрична енергія як продукт має дуже різну характеристику в порівнянні з матеріальними товарами. Наприклад, електроенергія практично не може бути збережена, оскільки вона повинна бути створена, як тільки є попит. Будь-яка комерційна електроенергетична компанія має ряд стратегічних цілей. Однією з цілей є надання кінцевим споживачам безпечної та стабільної електроенергії.

Тому прогнозування електричного навантаження є надзвичайно важливим процесом у плануванні електроенергетики та експлуатації електричних систем. Точні прогнози призводять до істотної економії витрат на будівництво та експлуатацію, підвищенню надійності системи електропостачання та прийняття правильних рішень щодо подальшого розвитку. Попит на електроенергію оцінюється на основі періодичного споживання. Це розглядається для погодинних, щоденних, щотижневих, місячних та річних періодів.

Прогноз навантаження відіграє важливу роль у роботі енергосистем. У короткостроковій перспективі прогнози погодинної завантаженості, зазвичай, визначаються на один день до одного тижня наперед. Прогнозні навантаження використовуються енергетичними компаніями для встановлення операційних планів електростанцій та їх виробничих одиниць, а також досліджень безпеки та управління завантаженням. Ще одне застосування короткострокового прогнозування навантаження полягає в оптимізації експлуатаційного стану енергосистеми з точки зору потоку навантаження, керування живленням та планування обміну. Довгострокове прогнозування електричного навантаження відповідає прогнозному горизонту від декількох місяців до декількох років вперед. Це надзвичайно важливо для планування будівництва нових виробничих потужностей та розвитку систем передачі та розподілу. На противагу прогнозуванню короткострокового навантаження точкові прогнози

не є дуже корисними, оскільки вони не можуть бути використані для обліку та хеджування за рахунок фінансових ризиків.

Ще однією відмінністю короткострокового та довгострокового прогнозування попиту є використання метеорологічних змінних, таких як температура та вологість, які є основними факторами, що визначають попит. У короткостроковій перспективі така інформація про погоду доступна на тиждень вперед, але недоступна для довгострокових прогнозів.

Прогнози використовуються для програмам управління попитом (Demand Response Programs – DRP). DRP – це контракти, за допомогою яких електроенергетичні компанії спонукають клієнтів переорієнтувати електричне навантаження з пікових годин на позапікові години. DRP поділяються на комерційні та програми для населення. Періодичні програми - найпоширеніші комерційні DRP. За таких програм клієнти отримують щомісячні платежі, і замість цього комунальна компанія має право наказати їм знизити їх електричний навантаження до заздалегідь визначеного рівня, який кожна фірма обирає під час реєстрації. Програма виконується щорічно, існує обмеження на кількість та тривалість переривань. На короткий термін, метою є визначення прогнозу погодинної завантаженості протягом періоду пікового попиту. Пікові щоденні години складаються з певних годин доби. [2]

Прогноз короткострокового завантаження дозволяє компанії визначати профіль навантаження в години піку, щоб вирішити, чи виконувати програму переривання в цей день або відкласти її. Проте для того, щоб вирішити це питання, довгостроковий прогноз навантаження повинен визначатися з урахуванням обмеження, яке існує на кількість та тривалість переривань. Таким чином, постачальна компанія може вирішити перервати свого клієнта в інший день, виходячи з результатів прогнозу довгострокового періоду. Для вирішення вищезазначених цілей необхідно розробити комбіновану модель короткострокових та довгострокових прогнозів.

Схематична модель управління попитом представлена на рисунку 1.6.

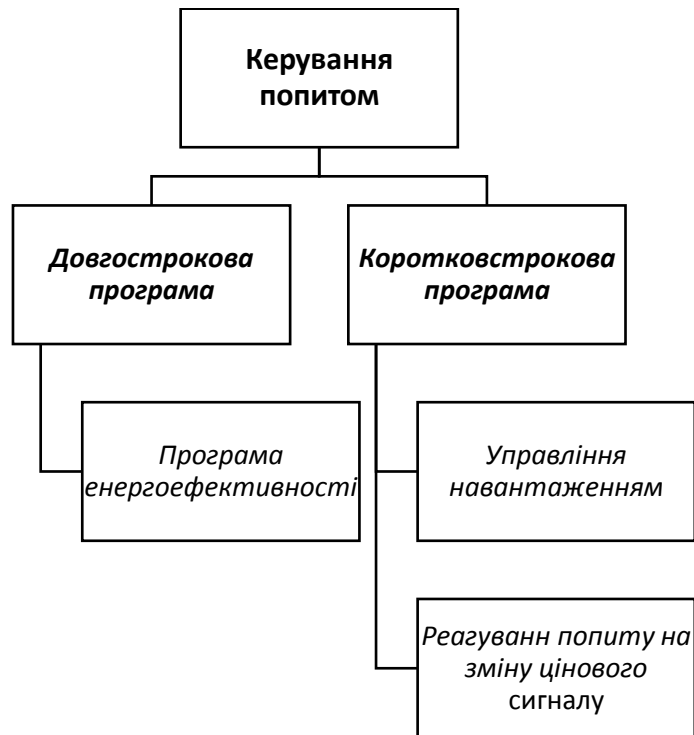


Рисунок 1.6 – Структурна схема управління попитом

### 1.3 Класифікація програм реагування попиту

У літературі терміни керування навантаженнями (LM – load management), керування попитом (DSM – demand side management) та реакція на попит (DR – demand response) можна знайти як визначення для багатьох концепцій. До дій з управління навантаженням можна віднести встановлення енергозберігаючого обладнання, обмеження навантаження, переміщення навантаження, зниження піку, заповнення провалів та використання технологій розосередженої генерації та зберігання енергії.

Методи управління навантаженнями можна розділити на дві підгрупи: прямі та непрямі. Під час застосування непрямих програм, енергокомпанії мають можливість контролювати обладнання клієнтів на підставі угоди. У непрямих програмах – це рішення клієнтів, брати участь у програмі чи ні. Якщо клієнти беруть участь у програмі, вони отримують переваги. Методи керування навантаженням схематично показані на рисунку 1.7. [3]

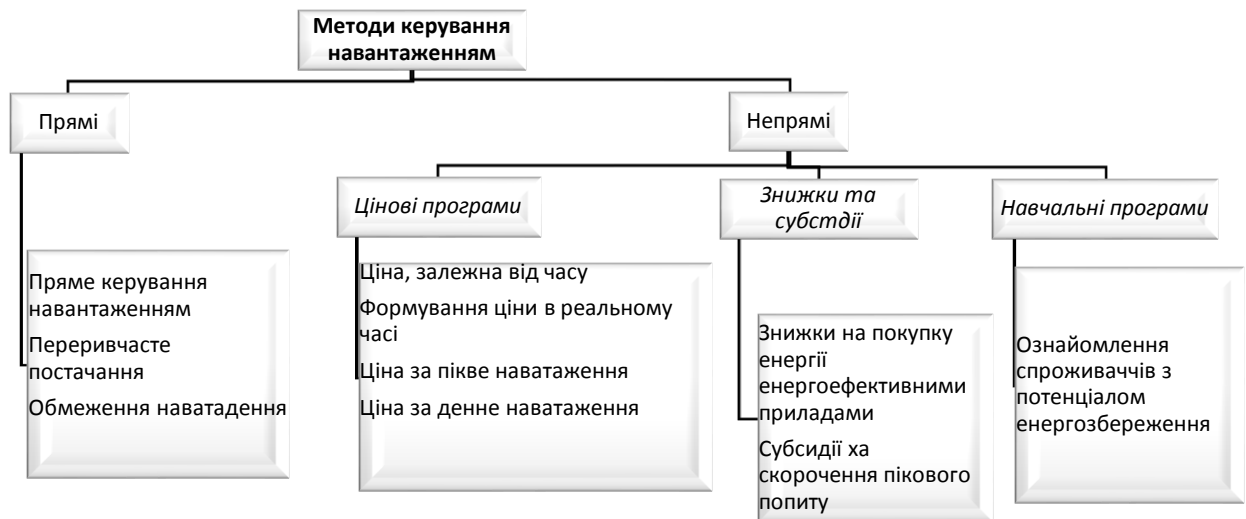


Рисунок 1.7 – Класифікація методів керування навантаженням

Управління прямим навантаженням ґрунтується на дистанційному керуванні спеціальним обладнанням кінцевих користувачів для включення та відключення протягом періодів пікового попиту та критичних подій. Водонагрівачі, насоси для басейнів, кондиціонери, пральні та посудомийні машини – це приклади пристроїв, які широко використовуються у житлових приміщеннях.

Пільгові тарифи це один з варіантів ціноутворення, який дозволяє споживачеві знизити попит у пікових навантаженнях чи аварійних умовах. Потрібна угода між енергокомпанією та особою для оцінки перериваючого навантаження. Обмежувачі попиту або віддалені повідомлення можуть бути використані для зменшення навантаження.

Програми обмеження завантаження пропонують платіжну або знижену тарифну ставку в обмін на зменшення максимального попиту на певну суму, коли в енергетичній системі існує дисбаланс. Ця програма широко використовується для великих промислових споживачів.

Існують тарифні програми, що містять цінові знижки для зниження попиту. Серед них варто відзначити наступні.

1. Ціна, залежна від часу: різні ціни на споживання в різний час протягом дня, тижня або сезону. Ціни постійні для періодів часу.
2. Ціни в режимі реального часу: ціни змінюються протягом коротких періодів часу (зазвичай на годину), що дозволяє краще відображати витрати на постачання.
3. Ціна за пікове навантаження: динамічне ціноутворення, коли заздалегідь встановлені більш високі тарифи протягом обмеженої кількості критичних днів або годин.
4. Пікова денна ціна: вища ціна на цілі 24 години певного дня.
5. Екстремальна пікова ціна: динамічне ціноутворення використовуються в пікові та пікові періоди протягом окремих днів. Для інших днів використовується фіксована ставка.

Знижки та субсидії пропонуються в якості мотивації для споживачів для збільшення використання енергоефективного обладнання або участі у зниженні попиту. Освітні програми спрямовані на підвищення обізнаності клієнтів щодо програм управління завантаженням. [4]

Прямі програми, наведені на рисунку 1.7, також можна класифікувати як заохочувальні програми. Ці послуги залежать від запропонованих стимулів для покупців та на основі контрактів, розроблених мережевими операторами та комунальними підприємствами. Участь є добровільною, і в разі невиконання зобов'язань можуть бути передбачені штрафи.

Програми, що базуються на цінах, можуть бути реалізовані опосередковано і призначені для відображення витрат на виробництво електроенергії. Це повністю залежить від вибору клієнта. Очікується, що покупці змінять споживання електроенергії завдяки зниженню ціни за внутрішнім економічним рішенням.

Існує шість традиційних підходів до управління попитом на електричну енергію, що впливають на зміну профілів навантаження, представлені на рисунках 1.8 – 1.12 ( $P$  – потужність,  $t$  – час):

### 1. Зниження піку навантаження

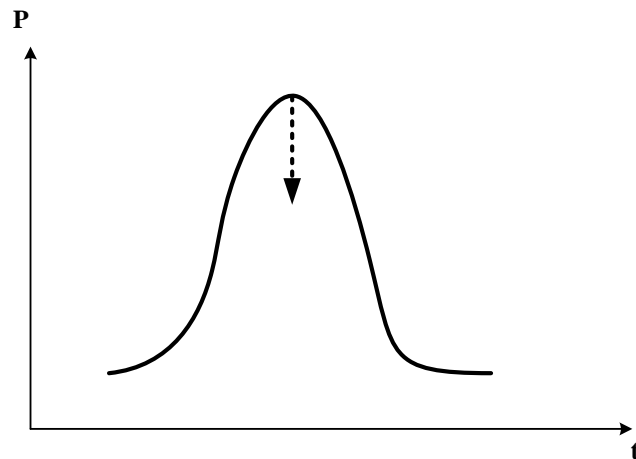


Рисунок 1.8 – Зниження піку

Це класичний підхід до управління навантаженням, які зазвичай реалізуються шляхом прямого регулювання живлення обладнання, що споживає електричну енергію. Цей спосіб може здійснюватися під час найбільш ймовірного системного піку, для зменшення потреби у власних або закуплених на стороні пікових потужностей. Дана форма управління попитом застосовується для скорочення використаних дорогих або дефіцитних видів палива.

### 2. Заповнення провалу графіка навантаження

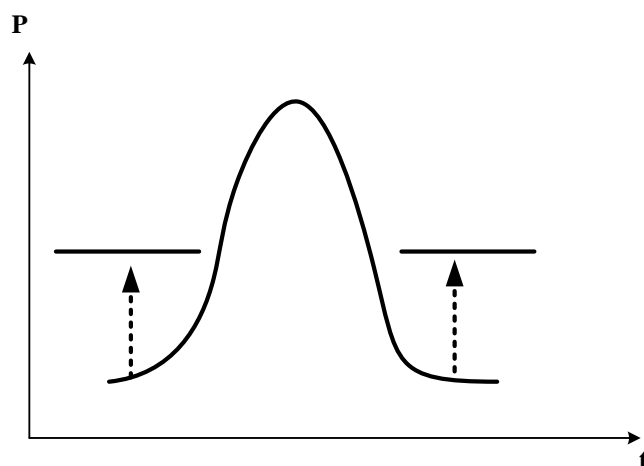


Рисунок 1.9 – Заповнення провалу

Даний підхід застосовується для зменшення середньої ціни на енергію, якщо додаткові витрати пов'язані із збільшенням виробництва електроенергії

під час спаду (провалу) навантаження виявляються нижче від середніх витрат на виробництво електроенергії. Для реалізації цього підходу можливі наступні заходи:

- використання акумуляційних пристроїв, батарей, накопичувачів енергії;
- одночасно з використанням батарей вводяться знижені ставки тарифу на споживання в нічні години.

### 3. Зміщення (зсув) навантаження

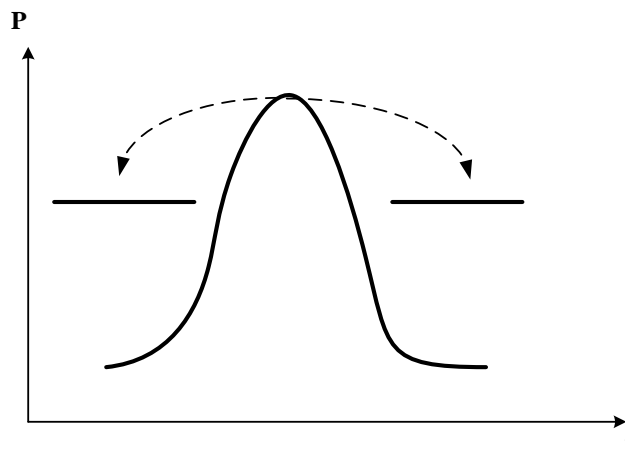


Рисунок 1.10 – Зміщення піку

Такий підхід здійснюється шляхом зсуву пікового навантаження на непіковий час доби. Вирівнювання графіка навантаження при цьому стимулюється тарифами на електроенергію, диференційованими за зонами доби.

### 4. Загальне енергозбереження

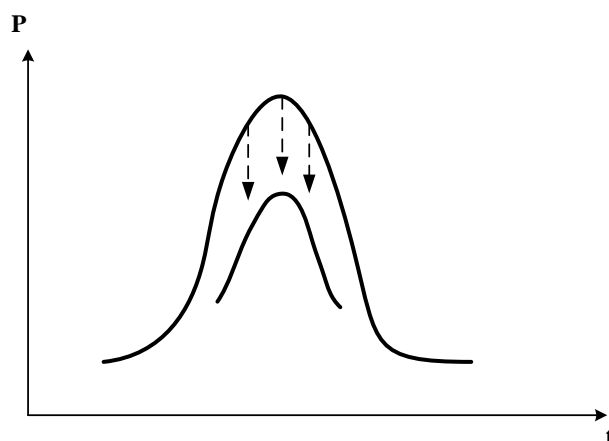


Рисунок 1.11 – Енергозбереження



Цей підхід забезпечується за допомогою програм, націлених на раціоналізацію технологічних процесів на стадії кінцевого енергоспоживання, а саме:

- на підвищення ККД енергоспоживаючого обладнання;
- поліпшення енергоефективності будівель, включаючи огорожувальні конструкції та інженерні систем.

Результати за цим підходом оцінюються по зменшенню вцілому обсягів продажі та купівлі електричної енергії і зменшення площі графіка навантаження енергосистеми.

#### 5. Загальне зростання навантаження

Такий підхід має місце при збільшенні обсягу реалізації електроенергії не пов'язаного із заповненням нічного провалу графіку навантаження. Це може статися при розширенні території, яка обслуговується, підвищення термінів економічного зростання, поглиблення процесу електрифікації регіону.

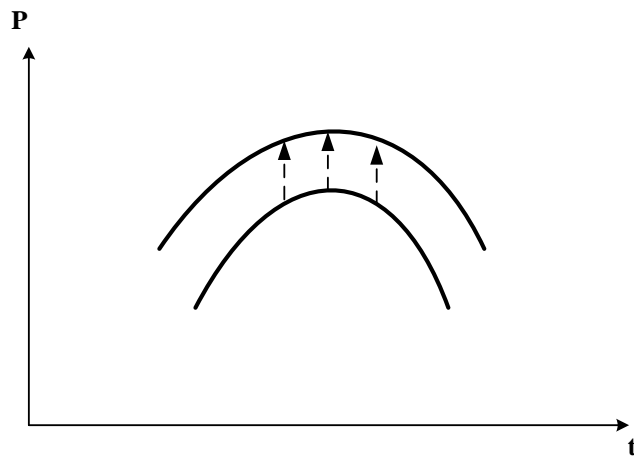


Рисунок 1.12 – Зростання навантаження

#### 6. Застосування гнучкого графіка навантаження

Даний підхід заснований на перериванні електропостачання до певної межі і особливість методу полягає в тому, що споживачі в обмін на фінансові стимули (знижки) за відповідними тарифами добровільно погоджуються

знизити свої вимоги до якості енергетичних послуг. При цьому у споживача є спеціальне устаткування для індивідуального регулювання навантаження. [2]

При використанні тарифів, що передбачають переривання в електропостачанні споживачі можуть вибрати частоту переривання протягом місяця або року, максимальна тривалість одного переривання, тощо.

#### **1.4 Участь кінцевих споживачів в управлінні попитом на електроенергію**

Завдяки впровадженню програми реагування попиту кінцеві споживачі можуть брати участь у діяльності ринку завдяки керуванню рівня свого енергоспоживання залежно від конкретних умов на ринку електроенергії.

Програма енергоефективності для кінцевих споживачів передбачає модернізацію обладнання на підприємстві з використанням інноваційного новітнього обладнання, скорочення енергоємності виробництва й перехід на нові технології та використання джерел розосередженої генерації.

Управління навантаженням надає можливість споживачам змінювати графік навантаження та отримувати відповідні виплати за скорочення попиту на електроенергію або за готовність це зробити.

Характер попиту споживачів – нерівномірність попиту на електроенергію існує незалежно від того, яка модель ринку впроваджується в країні. Характер попиту змінюється протягом доби, тижня, сезону, року.

Типовий добовий графік електричного навантаження Об'єднаної енергетичної системи України зображено на рисунках 1.13 та 1.14. [5]

Керування попитом передбачає процес заохочення споживачів до вирівнювання графіка навантаження енергосистеми. Концепція керування попитом є актуальною практично в будь-якій країні, де є значна нерівномірність споживання електроенергії впродовж доби, тижня чи сезону.

Вирівнювання графіка електричного навантаження сприяє скороченні кількості маневрових електростанцій, заощадженню паливно-енергетичних ресурсів та зменшенню втрат електроенергії.

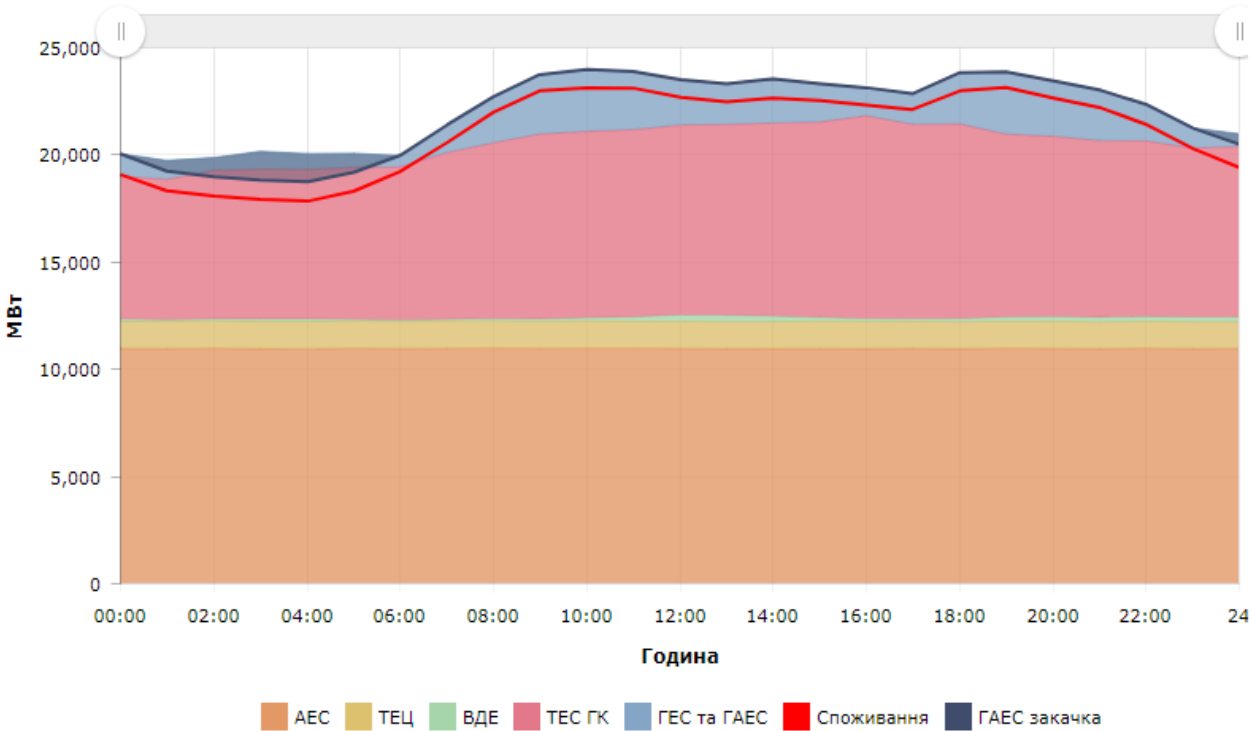


Рисунок 1.13 – Добовий графік виробництва/споживання електроенергії за 26.02.2018

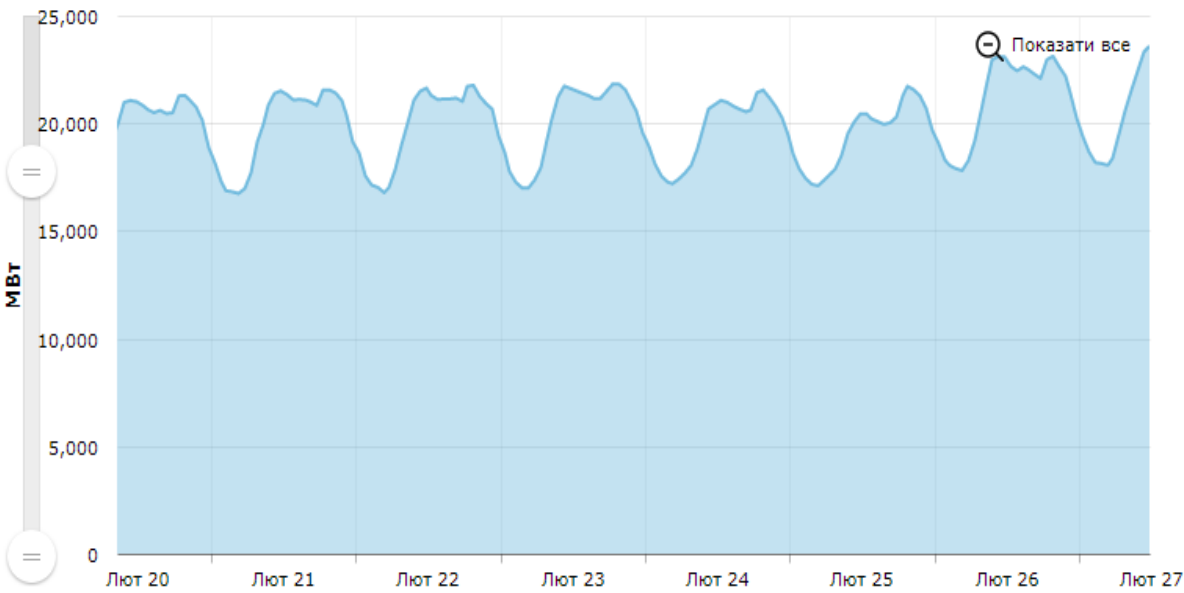


Рисунок 1.14 – Тижневий графік споживання електроенергії, лютий 2018

Важливо розуміти які обсяги електроенергії можна заощадити за рахунок тих чи інших заходів. Для наочності наведено приклад реалізації енергозберігаючої поведінки мешканців домогосподарств.

Одними з найбільш енергоємних приладів в домогосподарствах є холодильники та кондиціонери повітря.

Середня витрата електроенергії холодильником з об'ємом 190-200л, без зірок рейтингу становить близько 1,33 кВт·год/добу (приблизно 486 кВт год/рік), в той час як холодильник з низьким енергоспоживанням, 4-зіркового рейтингу (виробництва LG) споживає близько 0,88 кВт·год (320 кВт/год). Використання енергоефективного холодильника призводить до щорічного економії електроенергії 166 кВт·год.

Середнє споживання електроенергії кондиціонером без зірок рейтингу на 1,5 тони охолодження із спліт-системою становить приблизно 2,512 кВт·год в той час як комерційно доступний енергоефективний 4-х зірковий, 3-ох зірковий і 2-зірковий кондиціонер (виробництва LG ) споживають близько 1,78, 1,88 і 2,024 кВт·год. Використання кондиціонера 4-зіркової категорії дає річну економію електроенергії 311 кВт·год порівняно із 2-х зірковим кондиціонером.

Оцінки витрат капіталовкладень та коефіцієнта ефективності є однаковими для холодильників та кондиціонерів у житлових та комерційних приміщеннях, але оцінка часу використання відрізняється (таблиця 1.1). [6]

Енергоефективні заходи приносять користь споживачеві та суспільству. Переваги для споживачів виникають за рахунок збереженої електроенергії. Економія електроенергії зменшує ймовірність відключення навантаження.

Енергозбереження від впровадження заходів з енергоефективності накопичується протягом всього терміну служби кожного заходу. Необхідно оцінити економію енергії (ГВт·год) та зменшення пікової навантаження (МВт).

Таблиця 1.1– Оцінка енергозберігаючого обладнання

Показник	Житловий сектор				Комерційний сектор			
	Кондиціонер		Холодильник		Кондиціонер		Холодильник	
	2*	4*	Без*	4*	2*	4*	Без*	4*
Потужність, Вт	2024	1785	147	97	2024	1785	147	97
Життєвий цикл, р	10	10	15	15	10	10	15	15
Використання, год/рік	1260	1260	3300	3300	1800	1800	3300	3300
Щорічне споживання	2554	2243	486	320	3648	3205	486	320

### 1.5 Електромобілі як частина енергосистеми

Протягом останніх кількох років електричні транспортні засоби почали відігравати все більшу роль у світовій енергетиці. У Європі транспорт відповідає за чверть усіх викидів парникових газів. І хоча промислові викиди в Європі з 1990 року скоротились, транспортна галузь, у тому числі авіація, зросли на 9 відсотків.

Паризька кліматична угода у 2015 році та подальші угоди передбачають, що кожна країна, яка підписала цю Конвенцію, пропонує національну ціль захисту клімату, зокрема – вперше – в транспортній галузі. Крім того, Міжнародна енергетична агенція прогнозує, що викиди парникових газів від транспорту збільшаться на 120 відсотків з 2000 до 2050 року в результаті прогнозованого трикратного збільшення кількості автомобілів у всьому світі.

Оптимістичні оцінки стосовно майбутнього електронних транспортних засобів засновані на останніх розробках, включаючи швидкі темпи розвитку технології та нещодавно прийняте Китаєм зобов'язання щодо декарбонізації. [7]

Падіння цін на електромобілі та останні технічні розробки, зокрема, кілька з них під керівництвом Tesla змінили гру. З одного боку, вартість літій-

іонних акумуляторів, на які припадає приблизно 40 відсотків вартості електромобіля або гібридного автомобіля, знизилася з 2010 року на дві третини – набагато швидше, ніж очікувалося експертами, і в найближчому майбутньому очікується подальше різке скорочення.

До того ж, оскільки технології розвиваються, покращується "щільність енергії" літій-іонних батарей, що дозволяє зберігати більше енергії з меншою вагою.

Однак навіть діапазон, що перевищує 200 миль, не скасовує необхідність періодичного перезарядження. Частота та відстань між зарядними пристроями залишаються одними з ключових елементів, що стають на заваді у потенційних покупців. На території Європи зараз більше 100 000 зарядних пристроїв, всі, крім кількох тисяч з них, "повільні зарядні пристрої", де процес заряду триває вісім.

Європейський союз налаштований отримати додаткові пункти зарядки, встановивши, що з 2019 року кожен новий будинок, який буде побудований або відновлений, повинен мати станцію зарядну станцію для електромобілів. До 2023 року 10% усіх місць для паркування повинні мати зарядні пристрої. Автомобільні компанії Європи сьогодні визнають свою власну зацікавленість остаточно обладнати континент з зарядними пристроями, які потребують їх «електричних флотів».

Але, як зауважує Магдалена Йожвічка: "Електромобілі є настільки ж чистими, як їхнє джерело електроенергії. Революція електричних транспортних засобів повинна йти в ногу з переходом на чисту енергію, або це не має ніякого сенсу" [8].

На північних окраїнах Європи, малонаселена Норвегія є передовою країною, що стосується електричних транспортних засобів протягом багатьох років, навіть десятиліть. Столиця Осло, як і більшість міст і міст Норвегії, може похвалитися доступом до автобусів для електричних транспортних засобів, багаторазових станцій перезарядки, привілейованих стоянок та безоплатного проїзду для електромобілів.

Сьогодні Норвегія має найвищий показник на душу населення серед усіх електромобілів у світі: понад 100 000 у країні де населення становить 5,2 млн. людей, а кількість приватних домогосподарств – 2,38 млн (рисунок 1.15). [9].

У 2017 році 39% електромобілів на ринку були електричними чи гібридними. Норвегія ілюструє, що за допомогою стимулів, які усувають цінову перевагу звичайних автомобілів на паливі, багато людей оберуть електричний варіант. Мартін Норман з "Greenpeace Norway": "Це, безумовно, можливо, особливо в міських районах. Ми виявили, що діапазон можливостей електромобілів є достатнім для більшості людей ". І оскільки 98% електроенергії Норвегії походить від гідроенергії, парк електромобілів практично не залишає вуглецевого сліду.

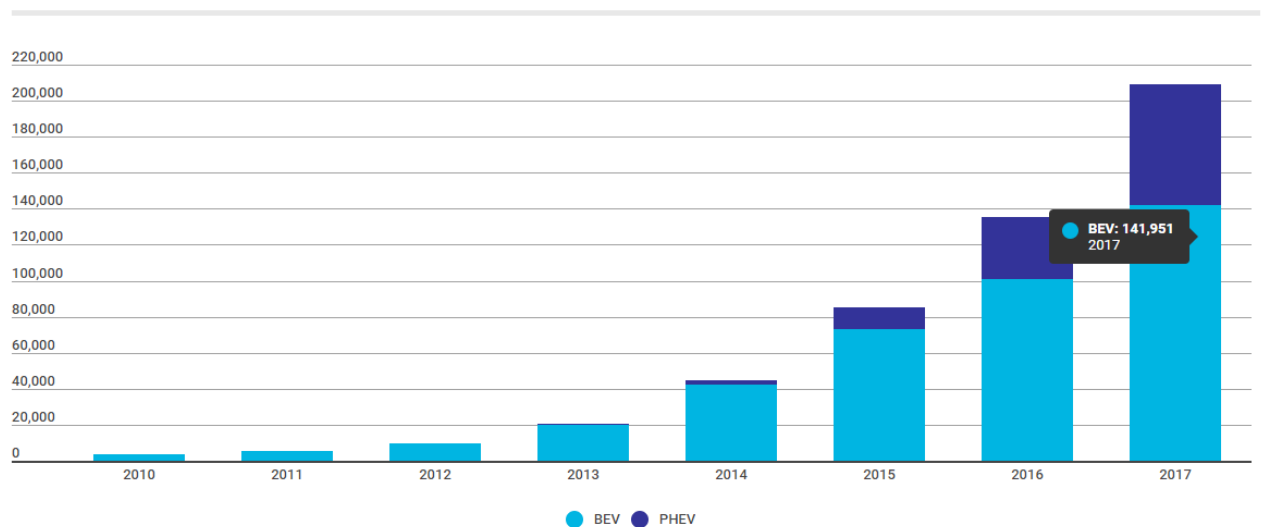


Рисунок 1.15 – Кількість електромобілів та гібридних автомобілів в Норвегії

Андреас Крамер з Інституту досліджень передового сталого розвитку в Потсдамі, Німеччина, зазначає, що електричні автомобілі з акумуляторами можуть використовуватися для зберігання надлишкової енергії, що сприяє розвитку відновлюваних джерел енергії [8].

Типові найбільш розповсюджені електромобілі та їх базові характеристики представлені в Додатку А.

## **1.6 Світовий досвід дослідження концепції керування попитом**

Незважаючи на те, що DSM отримує все більшу кількість досліджень та політичної уваги внаслідок плану дій по зниженню рівня викидів вуглецю, питання енергетичної безпеки та розвиток «розумної» мережі, використання гнучкості рівні попиту не є новим.

Енергетичний криза 1970-х років особливо позначився на США та була спричинена Організацією арабських країн-експортерів нафти (ОАРЕС) в 1973-1974 рр., та Іранською революцією в 1978-1979 рр. Інтерес до програм DSM зріс в США у 1980-х і 1990-х роках, а до 1995 року 600 енергетичних підприємств провели 2300 програм, в яких взяли участь 20 мільйонів учасників.

Досить примітно, що між 1989 та 1995 роками 260,000 ГВт·год були врятовані від витрат у розмірі 14 млрд. доларів США. Програми DSM після 1995 р. скоротилися в США оскільки проблеми енергетичної безпеки стали менш помітними. [10]

DSM не досяг такого ж інтересу чи успіху в Європі, як це було в США. Незважаючи на це, в 2000-х і 2010-х роках в світі змінилося зацікавлення DSM в результаті того, що питання зміни клімату та питання енергетичної безпеки виходять на передній план політичного порядку денного.

Його зростаюча база даних по тематичним дослідженням країн з усього світу світ підкреслює все більшу кількість урядів, що займаються DSM як альтернативним варіантом.

На рисунку 1.16 наведені найбільш часто зустрічаються країни, що займалися дослідженням чи впровадженням програм DSM.[10]



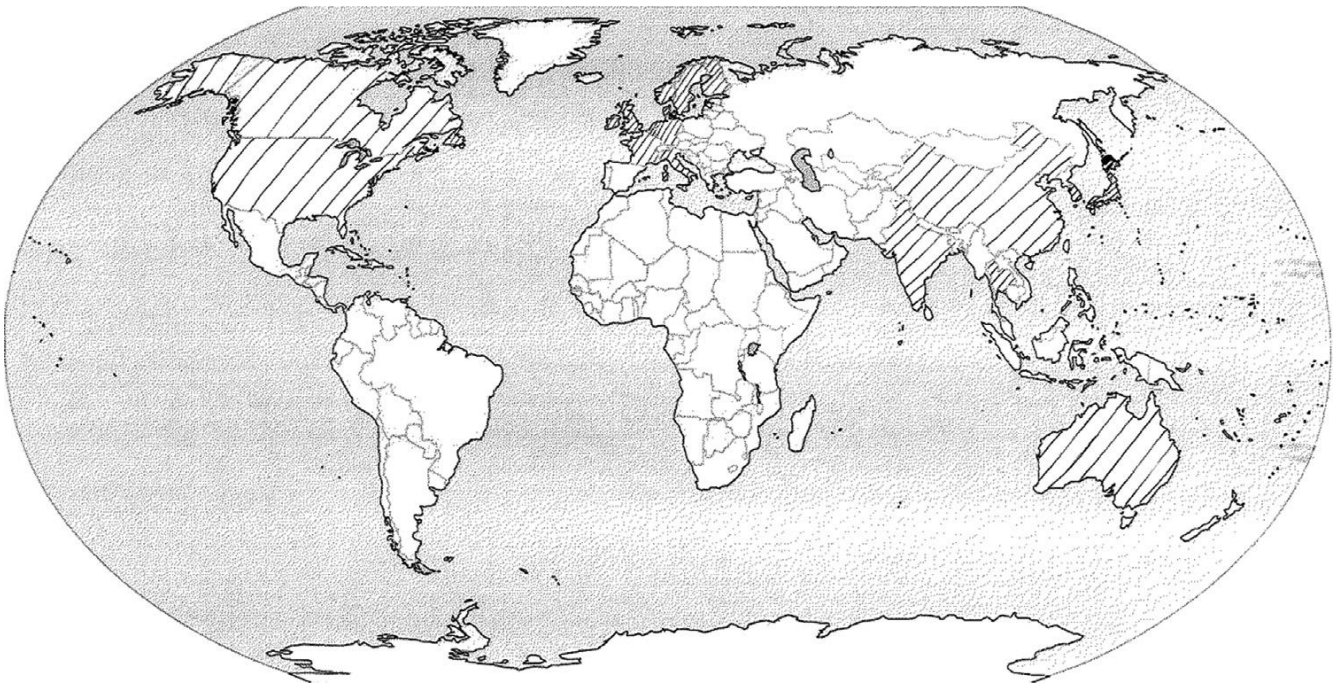


Рисунок 1.16 – Країни залучені в програмах управління попитом на електроенергію

#### **Висновки:**

В даному розділі було розглянуто світові тенденції розвитку електроенергетичної галузі. Крім того, визначено можливості та переваги довгострокових та короткострокових програм управління попитом. Було звернено уваги на домогосподарства та аспекти їхнього споживання. Також враховано можливості енергозбереження на побутовому рівні та описано вплив зростаючого попиту на електромобілі. Таким чином, можна відзначити наступні висновки:

1. Попит на електроенергію стрімко зростає.
2. Відбувається перехід від традиційних викопних джерел енергії до альтернативних, відновлюваних.
3. Концепція управління попитом може значним чином вплинути на роботу енергосистеми.
4. Електромобілі розширюють можливості управління попитом.
5. Концепцією DSM зацікавлюються все більша кількість країн.

## **2 МЕТОДОЛОГІЯ ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ПРОГРАМИ РЕАГУВАННЯ ПОПИТУ НА КРИВУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ**

### **2.1 Основні методологічні підходи проведення аналізу**

#### **2.1.1 Системний підхід**

В ході проведення даного дослідження застосовано принципи системного підходу. Системний підхід загальнонауковий методологічний напрямок, щодо способів теоретичного дослідження складно організованих об'єктів. Системний підхід виходить, перш за все, з якісного аналізу цілісних об'єктів та явищ і розкриття механізмів інтеграції їх частин у єдине ціле.

Вивчити систему означає виявити елементи системи, їх змінні, знайти значення змінних, виділити параметри. Завдання системного підходу – знаходження простого в складному. Сутність цього полягає в тому, що всі елементи системи й всі операції в ній повинні розглядатися тільки як одне ціле, в сукупності та у взаємозв'язку один з одним.

Методологія системного підходу базується на таких основних принципах:

1. Принцип багатоплановості полягає у тому, що будь-який об'єкт розглядається у декількох планах, аспектах. Наприклад, як якісна одиниця, що має свої специфічні особливості, та як частина своєї макросистеми.
2. Принцип багатомірності полягає у тому, що будь-який складний об'єкт характеризується великою сукупністю властивостей, які об'єднані в групи (кластери), кожен з яких описує ті чи інші його особливості.
3. Принцип ієрархічності полягає у тому, що вивчення складних об'єктів має базуватися на уявленні про ієрархічності їх структури. А саме на уявленні про розміщення частин або елементів цілого у порядку від вищого до нижчого. Ієрархічну структуру мають не тільки моделі складу

системи, а також властивості цих систем та критерії, що використовуються для їх оцінки.

4. Принцип різнопорядковості властивостей полягає у тому, що ієрархічність будови системи та її властивостей породжує закономірності різного порядку. Деякі закономірності притаманні усім рівням ієрархії, а саме усій системі. Інші належать тільки певній групі рівнів, треті притаманні лише елементам одного рівня, а четверті – тільки для окремих елементів одного рівня.
5. Принцип динамічності полягає у тому, що системний підхід вимагає розглядання досліджуваних об'єктів у їх розвитку на всіх етапах життєвого циклу. [11]

### **2.1.2 Сценарний аналіз**

Прийняття рішень щодо майбутньої поведінки складних систем з людським фактором має певні особливості. До таких систем відноситься і поведінка споживачів електроенергії. Перш за все, ці системи можуть бути піддані зовнішнім впливам та обмеженням різного типу. Системи, пов'язані з людським фактором містять підсистеми різної природи зі складними взаємозв'язками кількісного або якісного характеру. Функціонування відбувається згідно з поставленими цілями, що у більшості випадків можуть конфліктувати між собою. У випадку споживачів електроенергії, конфліктує цілями є задоволення потреб покупців та зниження витрат виробників.

В системах, де присутній людський фактор характерні суттєві невизначеності даних, також присутні ризики, властиві їхній поведінці. Експертні оцінки щодо їхніх якісних характеристик завжди мають суб'єктивний характер. Щодо поведінки таких систем у майбутньому потрібно приймати конкретні рішення у вигляді сценаріїв та стратегій.

Слід розглянути деякі методи, які можна використовувати для виконання комплексу робіт з технологічного передбачення, але жоден з них сам по собі не

розв'язує проблеми. Дані методи можна розглядати як складові системної методології, яка визначає послідовність їх використання, взаємозв'язки між ними і, в цілому, формує процес технологічного передбачення чи прогнозування.

Методи якісного аналізу в комплексі робіт з технологічного передбачення застосовують на різних етапах:

- попереднє вивчення проблеми;
- якісний аналіз проблеми;
- написання сценаріїв;
- оцінка реалістичності сценаріїв.

На етапі попереднього вивчення проблеми аналізують її характерні особливості, визначають напрями досліджень, формулюють найважливіші критерії для обраної проблеми.

Метод сканування використовують при першому «осмисленні» проблеми, що виникла, в широкому діапазоні ідей та підходів, які можуть застосовуватися для її вирішення. Зазвичай, цей метод застосовують для попереднього вивчення нових проблем, щодо яких відсутній практичний досвід вирішення.

Метод мозкового штурму призначений для глибокого та інтенсивного дослідження проблеми у вузьких напрямках, діапазонах чи фокусах ідей та підходів. Спочатку визначають вузькі напрямки, наприклад, шляхом кластеризації із застосуванням методу сканування.

Обрані ідеї та підходи до вирішення сформульованої проблеми далі використовують для підготовки рішень на наступних етапах передбачення.

На етапі якісного аналізу проблеми застосовують іншу групу методів. Зокрема, Метод Делфі, у вітчизняній літературі досить часто цей метод відомий під назвою метод експертних оцінок. З цією метою на першому етапі розробляють так звані опитувальні форми. Вони використовуються для збирання раціональних оцінок значень досліджуваних характеристик, запропонованих експертами. Опитувальні форми містять перелік запитань, що

передбачають відповіді за наперед визначеною формою, для того щоб кількісно оцінити значення певних змінних чи характеристик і після цього узагальнити висновки експертів.

Метод перехресного впливу. Цей метод на першому етапі його застосування також ґрунтується на використанні висновків експертів щодо подій, які могли б охарактеризувати майбутнє на певному відрізку часу. Наприклад, якщо потрібно передбачити розвиток певної галузі індустрії, насамперед слід визначити, які важливі події майбутнього найповніше відображатимуть сценарії розвитку даного сектора промисловості. В даному методі будується так звана матриця перехресного впливу, що визначає взаємний вплив подій.

Метод Сааті. На відміну від інших методів, використовуваних у цій сфері знань, в основу методу покладено умову «фокусування» або «сходження» до чогось єдиного стосовно висновків експертів і дій багатьох виконавців складного процесу, що передбачається. Тобто у даному випадку метод ґрунтується на «причинній» перспективі процесів, що є основою для розроблення сценаріїв майбутнього. Для цього, при побудові моделі, призначеної для розрахунку імовірностей виникнення кожного можливого сценарію в майбутньому, застосовують так звані «ієрархічні мережі».

Метод морфологічного аналізу базується на системному підході і з цього погляду потребує ідентифікації так званих характеристичних параметрів для систем, які піддаються вивченню. Після того, як задано набір характеристичних параметрів необхідно визначитися із множинами значень кожного з них (морфологічними просторами).

Із можливого морфологічного простору створюваної системи, виділяється так званий морфологічний простір реального досягнення, у якому розв'язками залишаються лише елементи, яких можна реально досягти.

Після виконання етапу якісного аналізу проблеми виробляють якісні оцінки або попередні сценарії, які використовують на наступному етапі передбачення, що полягає у написанні узагальнених сценаріїв.

Метод написання сценаріїв може бути представлений послідовністю таких кроків:

- встановлення попередньої мети створення сценарію;
- складення широкої програми досліджень;
- припущення, необхідні для побудови сценарію;
- побудова схеми альтернативних подій;
- написання сценаріїв;
- аналіз сценаріїв;
- побудова політики поведінки;
- розробка альтернативної стратегії поведінки;
- оцінка розробленої альтернативної стратегії.

Після написання сценаріїв й оцінення їх реалістичності наступним важливим етапом передбачення є представлення цих сценаріїв. Це всебічний їх аналіз та обговорення, в результаті чого для кожного з них встановлюють певний рівень довіри.

Сценарії, які залишилися після відкидання тих, що викликали повну недовіру, далі ще раз оцінюють з точки зору їх реалістичності, застосовуючи методи розрахунку умовних імовірностей подій.

Метод моделей Байєса, на відміну від попередніх, меншою мірою спрямований на передбачення можливих сценаріїв майбутнього. Його сутність полягає в тому, щоб у групі сценаріїв визначити, наскільки реальним є кожний з них. Тобто метод можна розглядати як інструмент для підтримки прийняття рішень, що дозволить реально та якнайточніше зорієнтувати дослідників з технологічного передбачення щодо можливих сценаріїв майбутнього. [12]

Для візуалізації тенденцій, пов'язаних з кожним із сценаріїв майбутнього, доцільно отримані результати відобразити графічно. Після того, як експерти проаналізують ці результати, варто зробити остаточні висновки щодо того, які з досліджуваних сценаріїв є реальними, а які ні.

### 2.1.3 Порівняльний аналіз

Даний аналіз це – сукупність логічних прийомів пізнання зовнішнього світу, що полягають у визначенні невідомого через його порівняння з відомим; з'ясування якостей (властивостей) явища за допомогою порівняння з іншими його якістьми (властивостями) або якістьми (властивостями) іншого явища. Сутністю порівняльного аналізу є виявлення спільних та відмінних рис (характеристик) якогось явища, досліджуваного процесу на різних етапах розвитку.

Таким чином порівняльний аналіз дає змогу встановити закономірності, вдаючись до порівняння стану дослідження об'єктів у різні часи, порівняння їх якостей у минулому з такими самими сучасними якістьми для встановлення змін або тенденцій розвитку.[13]

## 2.2 Методи прогнозування

Існує близько 200 наукових методів та технічних засобів для прогнозування подій. Однак, на практиці застосовують не більше 15-20 методів. Дані методи можна розділити на категорії:

- історична аналогія;
- екстраполяція;
- моделювання;
- експертні оцінки;
- сценарії майбутнього. [14]

Відповідно, у кожного з методів є свої переваги та недоліки. Методи екстраполяції тенденцій базуються на припущенні про безперервність розвитку процесів чи явищ. У даному випадку, можна графічно або аналітично продовжити криві зростання (спаду), якщо для системи була характерна дана поведінка у минулому. Існує можливість обчислити характеристики процесу у

майбутньому, проте слід бути обережним із часовими проміжками екстраполяції.

Метод експертних оцінок — це науковий метод аналізу і дослідження складних проблем, що не формалізуються на основі інтуїтивно-логічного підходу. Сенс полягає у проведенні експертами аналізу проблеми з подальшою формалізованою обробкою результатів. Узагальнена думка експертів приймається як найбільш вірогідне вирішення проблеми. Найскладнішим є процес добору експертів. Також досить складно створити перелік питань та побудувати шкалу оцінювання.

Метод моделювання побудований на вивченні не власне об'єктів, що досліджуються, а їхніх моделей. Результати дослідження переносяться з моделей на об'єкт. Є декілька видів моделювання: предметне, фізичне, знакове (математичне), імітаційне та комп'ютерне.

Комп'ютерне моделювання — це експериментальний метод дослідження та прогнозування складних систем за допомогою обчислювальної техніки. Даний метод може бути охарактеризований як процес конструювання моделі реальної системи з подальшим дослідженням та проведенням експериментів на ній. У результаті вивчення поведінки моделі у різних умовах і при різних значеннях вхідних параметрів з'являється можливість прогнозувати поведінку реальної системи, передбачити результати тих чи інших управлінських дій. Іншими словами, експеримент з самою системою чи об'єктом моделювання замінюється експериментом з його модельним описом. Даний метод став досить популярним із розвитком комп'ютерної техніки. Саме комп'ютерне моделювання реалізовано в даній роботі.

Крім імітаційних моделей, які сьогодні є одним з найпоширеніших методів вивчення та прогнозування, широкого застосування набули історичні моделі — образи і сценарії майбутнього. Історичний підхід полягає у виявленні об'єктивних закономірностей і тенденцій розвитку системи і спирається на принцип детермінізму майбутнього, на те, що необхідність завжди пробиває



собі шлях крізь випадковості. Сценарій можна розглядати як історико-системну модель.

Сценарії допомагають з'ясувати, яким шляхом крок за кроком може бути реалізована та чи інша теоретична ситуація та які варіанти є на кожному етапі для кожного учасника подій, щоб відвернути, полегшити або уникнути певного розвитку подій. Сценарій являє собою багатоваріантний прогноз, що поєднує системний та історичний підходи до вивчення складних систем; у більшості випадків він має описовий характер і широко використовується для побудови прогнозів. [14]

Необхідно відзначити, що жоден з розглянутих методів не може забезпечити високої надійності прогнозу. Тому на практиці зазвичай звертаються до комбінованих, комплексних методів.

## **2.3 SWOT-аналіз**

Аналіз зовнішнього середовища включає розгляд зовнішніх елементів. Важливий напрямок аналізу зовнішнього середовища – виявлення та розуміння існуючих і потенційних можливостей і загроз, з якими стикається компанія чи об'єкт дослідження.

SWOT-аналіз – метод стратегічного планування, що полягає у виявленні факторів внутрішнього і зовнішнього середовища організації і поділі їх на чотири категорії:

1. Strengths (сильні сторони),
2. Weaknesses (слабкі сторони),
3. Opportunities (можливості),
4. Threats (загрози).

Сильні (S) і слабкі (W) сторони є факторами внутрішнього середовища об'єкта аналізу, (тобто тим, на що сам об'єкт здатний вплинути); можливості (O)

і загрози (Т) є факторами зовнішнього середовища (тобто тим, що може вплинути на об'єкт ззовні і при цьому не контролюється об'єктом).

Переваги методу: простота і можливість витратити невеликі кошти на його проведення, гнучкість і наявність безлічі варіантів, спільне вивчення зовнішніх та внутрішніх факторів, а також те, що він може розглядатися стосовно як усього підприємства, так і його структурних підрозділів чи у розрізі окремих видів продукції.

До недоліків можна віднести неможливість врахування всіх сил і слабкостей, можливостей і загроз. [15]

## **2.4 Застосування інструментів програмного забезпечення**

В даній роботі здійснено моделювання процесів споживання електричної енергії за допомогою матричної мови програмування MATLAB. MATLAB - це інструмент для технічного обчислення, обчислення та візуалізації в інтегрованому середовищі. MATLAB – аббревіатура, що розшифровується як матрична лабораторія (MATRIX LAB). Даний програмне забезпечення добре підходить для матричного обчислення та вирішення проблем що стосуються лінійної алгебри, моделювання та управління пристроями.

Під час виконання процесу моделювання, використовувалися наступні базові функції та елементи програмного середовища:

- ряди, вектори, матриці та операції з ними;
- виведення інформації на друк у вигляді графіків;
- елементи програмної логіки;
- функції циклів та їхні властивості.

Серед переваг застосування програмного забезпечення:

- спрощення процесу обчислення;
- можливість зміни параметрів та швидкого перерахунку результатів;
- візуалізація отриманих результатів;

- симуляція великої кількості сценарії за короткий період часу.

## 2.5 Статистичні методи

Ймовірністю події  $A$  називають відношення числа подій, що сприяють цій події  $m$  до загальної кількості всіх рівноможливих несумісних елементарних результатів  $n$ , що утворюють повну групу:

$$P(A) = \frac{m}{n} = p \quad (2.1)$$

Із визначення ймовірності випливають наступне: ймовірність випадкової події це додатне число  $0 \leq P(A) \leq 1$ . [15]

Законом розподілу випадкової величини називається функціональна залежність між можливими значеннями випадкової величини і відповідними ймовірностями. Закони розподілу найбільш повно описуються числовими характеристиками, функцією розподілу і густиною ймовірності.

Розглянемо основні закони, які зустрічаються при описі відмов технічних системи та їхніх елементів (в теорії надійності).

Зміна дискретної величини  $X$  задається а табличній формі: певному значенню  $x_i$  відповідає ймовірність  $p_i$  (таблиця 2.1)

Таблиця 2.1 – Відповідність значень випадкової величини ймовірностям

$x_i$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	...	$x_{n-1}$	$x_n$
$p_i$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	...	$p_{n-1}$	$p_n$

### 2.5.1 Біноміальний розподіл

Біноміальний закон розподілу використовується для визначення ймовірності настання деякої події  $X$  цілих  $m$  разів в  $n$  незалежних дослідів, що виконуються в рівних умовах.

$$P_n(X) = C_n^m \cdot p^m \cdot q^{n-m}, \quad (2.2)$$

де  $p$  – ймовірність того, що подія, яка фіксується – відбудеться;

$q$  – ймовірність того, що подія, яка фіксується – не відбудеться;

$C_n^m$  – число комбінацій із  $n$  по  $m$  елементів

$$C_n^m = \frac{n!}{m! (n - m)!} \cdot \quad (2.3)$$

Закон розподілу вважається заданим, якщо відомі параметри  $n$  і  $p$ , так як згідно теорії суми ймовірностей сума ймовірностей протилежних подій дорівнює одиниці (таблиця 2.2)

$$q = 1 - p \quad (2.4)$$

Таблиця 2.2 – Варіанти значень ймовірностей

$x_i$	0	1	2	...	$m$	...	$x_n$
$p_i$	$q^n$	$n \cdot p \cdot q^{n-1}$	$C_n^2 \cdot p^2 \cdot q^{n-2}$	...	$C_n^m \cdot p^m \cdot q^{n-m}$	...	$p^n$

Математичне очікування і дисперсія визначаються наступним чином [15]:

$$M(x) = n p, \quad (2.5)$$

$$D(x) = n p q. \quad (2.6)$$

### 2.5.2 Закон розподілу Пуассона

Закон розподілу Пуассона моделює випадкову величину, яка є набором подій, що відбулися за фіксований час з деяким фіксованим значенням параметра розподілу. Ймовірність успішних випробувань [16]

$$P_n(X = m) = \frac{\lambda^m}{m!} e^{-\lambda}, \quad (2.7)$$

де  $e$  – основа натурального логарифму,  $e=2,71828$ ,

$m$  – кількість успішних подій за одиницю часу,

$\lambda$  – параметр розподілу (очікувана кількість успішних подій),

$$\lambda = n p, \quad (2.8)$$

де  $n$  – загальна кількість випробувань,

$p$  – ймовірність появи успішної події (подія, що очікується)

Таблична форма закону розподілу наведена в таблиці 2.3.

Математичне очікування і дисперсія:

$$M(x) = \lambda, \quad (2.9)$$

$$D(x) = \lambda. \quad (2.10)$$

Таблиця 2.3 – Варіанти значень ймовірностей

$x_i$	0	1	2	...	$x_n$
$p_i$	$e^{-\lambda}$	$\lambda e^{-\lambda}$	$\frac{1}{2} \lambda^2 e^{-\lambda}$	...	$\frac{1}{n!} \lambda^n e^{-\lambda}$

Розподіл Пуассона використовується при визначенні числа збоїв на автоматичній лінії, кількості відмов складної системи, аналізі результатів маркетингових досліджень споживачів, розрахунку характеристик планів статистичного прийомного контролю у випадку малих значень прийомного рівня дефектності, для опису числа збоїв статистично-керованого технологічного процесу, статистичних закономірностей нещасних випадків і тому подібне.

### 2.5.3 Гіпергеометричний розподіл

Даний розподіл є типовим для вибіркового контролю якості продукції за альтернативною ознакою. Генеральною сукупністю в даному випадку є партія продукції, що підлягає контролю, в якій  $m$  одиниць не підлягають під певну ознаку. Ймовірністю того, що у вибірці, кількістю  $n$  буде виявлено рівно  $m$  невідповідних виробів, що визначаються відношенням [16]:

$$P_n(X = m) = \frac{C_M^m \cdot C_{N-M}^{n-m}}{C_N^n} \quad (2.11)$$

де  $X$  – дискретна величина зі значеннями  $0, 1, 2, \dots, m, \dots, M$ ,

$N$  і  $n$  – кількість дефектних одиниць продукції і партії у вибірці,

$C_M^m$  – число комбінацій із  $M$  по  $m$

$$C_n^m = \frac{n!}{m! (n-m)!} \quad (2.12)$$

Математичне очікування і дисперсія обчислюються за формулами:

$$M(x) = n \frac{M}{N}, \quad (2.13)$$

$$D(x) = \frac{nM(N-M)(N-n)}{N^2(N-1)} \quad (2.14)$$

Даний розподіл широко використовується в практиці статистичного прийомного контролю якості промислової продукції, в задачах, пов'язаних з організацією вибіркового обстеження та інших.

У багатьох практичних задачах доводиться стикатися з певними законами розподілу неперервних випадкових величин. Часто зустрічаються закони рівномірного, нормального, показового розподілу ймовірностей.

#### 2.5.4 Рівномірний закон розподілу

Зустрічаються випадкові величини, про які завчасно відомо, що вони можуть приймати те чи інше значення в суворо зазначених межах, до чого ж цих межах мають однакову ймовірність (густину ймовірності) [16].

Функція розподілу (рисунок 2.1):

$$F(x) = \frac{x - a}{b - a}, a < x < b \quad (2.15)$$

Густина розподілу:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{1}{b-a}, & a < x < b \\ 0, & b < x \end{cases} \quad (2.16)$$

Математичне очікування та дисперсія обчислюються за наведеними формулами:

$$M(x) = \frac{a + b}{2}, \quad (2.17)$$

$$D(x) = \frac{(b - a)^2}{12}. \quad (2.18)$$

Рівномірному закону розподілу підпорядковуються, наприклад, похибки округлення, що виникають у результаті відкидання в чисел однієї чи декількох цифр. Із цим доволі часто доводиться зустрічатися під час експериментів в різних галузях вимірювальної практики. Дана властивість застосовується в деяких генераторах псевдовипадкових чисел. Рівномірному закону підпорядковуються випадкові похибки.

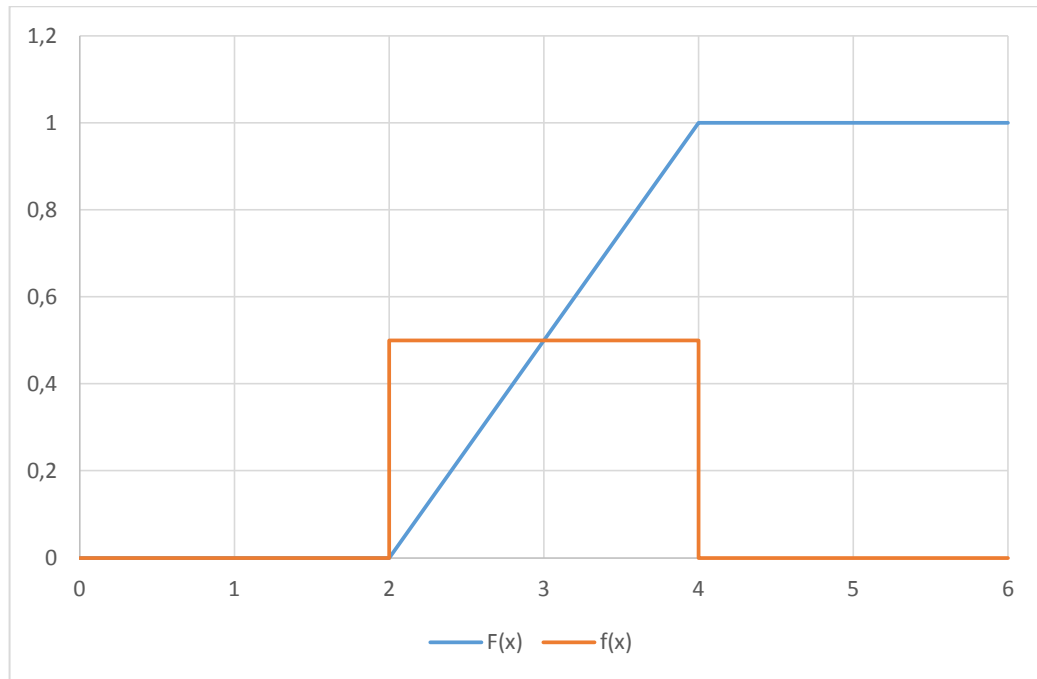


Рисунок 2.1 – Графіки функції розподілу  $F(x)$  та густини ймовірності  $f(x)$  при  $a=2, b=4$

### 2.5.5 Нормальний закон розподілу

Нормальний закон розподілу називають фундаментальним законом у теорії ймовірності, так як його застосування часто зустрічається під час вивчення природніх і соціально-економічних явищ.

Особливість закону полягає в тому, що він є граничним законом, до якого наближуються інші закони розподілу при типових умовах, які зустрічаються доволі часто [15].

Розподіл густини ймовірності випадкової величини називають нормальним, якщо густина ймовірності описується функцією типу (рисунок 2.2):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.19)$$

де  $m$  – математичне очікування, мода, медіана;

$\sigma$  – стандартне відхилення.

Функція розподілу:

$$F(x) = \int_a^b f(x) dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (2.20)$$

де  $a$  і  $b$  – межі зміни значень випадкової величини  $X$ .

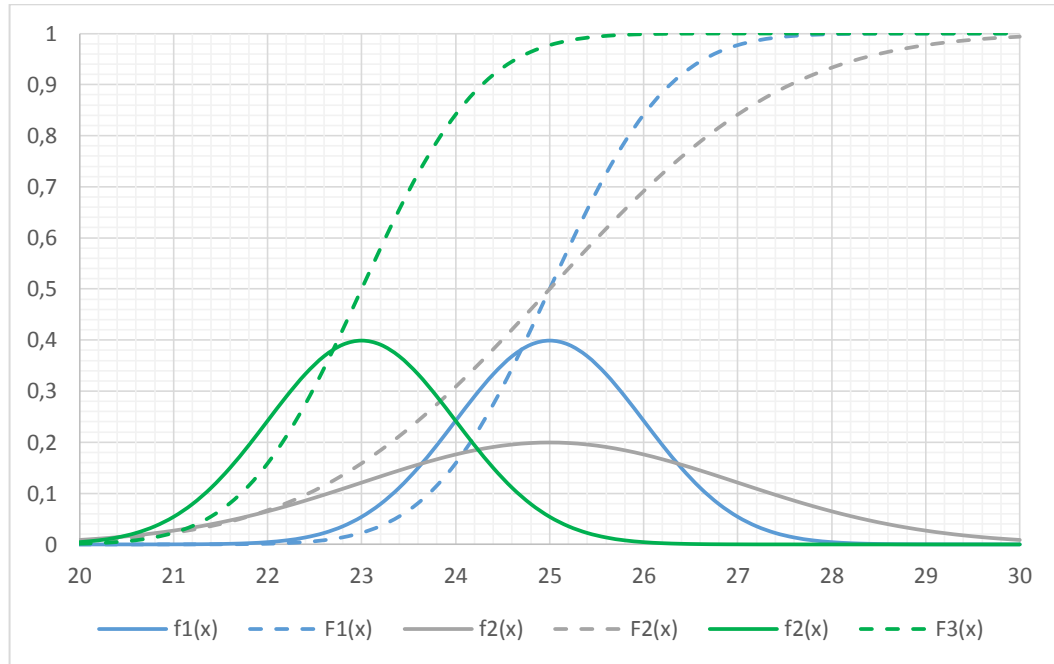


Рисунок 2.2 – Графіки функції розподілу  $F(x)$  і густини ймовірності  $f(x)$ :  $m=25$ ,  $\sigma=1(f1(x), F1(x))$ ;  $m=25$ ,  $\sigma=2(f2(x), F2(x))$ ;  $m=23$ ,  $\sigma=1(f3(x), F3(x))$

Ймовірність потрапляння випадкової неперервної величини  $X$  в заданий інтервал  $[a, b]$ :

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx. \quad (2.21)$$

Математичне очікування і дисперсія обчислюються за формулами:

$$M(x) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x) dx, \quad (2.22)$$

$$D(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (M(x) - x)^2 f(x) dx. \quad (2.23)$$

Часто доводиться обчислювати ймовірність того, що значення випадкової величини  $X$  потрапляє в інтервал  $(m - l, m + l)$  (рисунок 2.3).



Ймовірність, з якою за умов даного експерименту отримані експериментальні дані можна вважати надійними або достовірними, називають довірчою ймовірністю, або надійністю, а інтервал називають довірчим інтервалом.

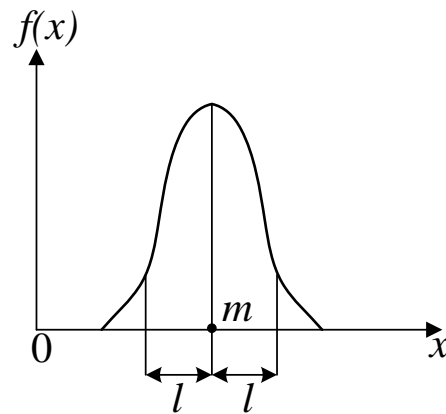


Рисунок 2.3– Графік густини розподілу випадкової величини X

Ймовірність того, що значення випадкової величини  $X$  потрапить до інтервалу  $(m - l, m + l)$ , вираженого через середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  ( $l = \sigma, 2\sigma, 3\sigma$ ), наведено в таблиці 2.4.

Згідно з правилом трьох сігм, ймовірність того, що випадкова величина відхилиться від свого математичного очікування на величину, більшу від потроєного середньоквадратичного відхилення практично дорівнює нулю [16].

Таблиця 2.4 – Правило «трьох сігм»

Довірчий інтервал	Ймовірність, %
$m - \sigma \leq x \leq m + \sigma$	68,3
$m - 2\sigma \leq x \leq m + 2\sigma$	95,5
$m - 3\sigma \leq x \leq m + 3\sigma$	99,7

Також, іноді застосовують логарифмічно-нормальний розподіл, розподіл Вейбулла-Гнеденко та показниковий закон розподілу. Проте дані типи розподілу не описуються в роботі. Для моделювання використано випадкову величину, розподілену за нормальним законом розподілом. Також було враховано правило «трьох сігм».

## **Висновки**

В даному розділі увагу зосереджено на методах дослідження, використаних в роботі. Таким чином визначено всі інструменти, необхідні для проведення аналізу та виконання дослідження, наведеного в наступних розділах.

1. Застосовано системний підхід для проведення дослідження, тобто вивчаються різні аспекти проблеми.
2. Використано сценарний аналіз поведінки споживачів електричної енергії та порівняльний аналіз для їх оцінки.
3. Моделювання було обрано як метод прогнозування електричного навантаження.
4. SWOT-аналіз може бути використаний для аналізу стартап-проекту, базованого на результатах дослідження.
5. Моделювання варто здійснювати за допомогою програмного забезпечення, для цього обрано середовище MATLAB.
6. Розглянуто та проаналізовано аспекти теорії ймовірності та обрано принципи використання та закон розподілу випадкової величини, що є необхідним для процесу моделювання.

## **3 МЕТОДИ КЕРУВАННЯ ПОПИТОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ІГОР**

### **3.1 Концепція інформаційно-телекомунікаційних технологій та смарт-лічильники**

В останні десятиліття концепція інформаційно-телекомунікаційних (ІКТ) пережила революційні зміни. Тепер можливо передати величезну кількість даних зі швидкістю світла. Крім того, обчислювальна потужність комп'ютерів зросла, в той час як ціни знижувались, що дало змогу проводити складні обчислення за дуже низькою ціною.

Теорія ігор є основою математичних моделей, що допомагає приймати стратегічні рішення. З 1950-х років вона використовується в економіці, в області комп'ютерних наук та інших дисциплінах. Проблеми управління попитом часто можна розглядати як ігри. Ці ігри потім розглядаються з відомими підходами з теорії ігор.

Основна увага у полягає у вивченні того, як існуючі можливості в ІКТ, а також концепції теорії ігор, що можуть допомогти вирішити майбутні проблеми управління попитом в 'Smart grid'. Дослідження головним чином зосереджене на управлінні внутрішнім попитом.

Припустимо, що в найближчому майбутньому будівлі будуть оснащені розумними лічильниками та розумними приладами. Розумний лічильник встановлює зв'язок з цими пристроями. Розумний лічильник здатен отримувати інформацію від смарт-пристроїв про споживання енергії, графік споживання і т. д. Крім того, він може планувати роботу цих пристроїв. Якщо будівля буде постачати енергію (наприклад, від сонячних батарей на даху або від акумулятора електричного автомобіля), розумний лічильник зв'язується з цими джерелами енергії.

Розумний лічильник також зв'язується з мережею. Він отримує поточну інформацію про ціни та прогнози цін з мережі та може надсилати очікувані дані

про енергоспоживання та вироблення енергії. Таким чином, розумний лічильник фактично є проміжною ланкою між мережею та будівлею.

### 3.2 Динамічне ціноутворення

На сьогоднішній день вітчизняні користувачі в цілому мають фіксовані тарифи на електроенергію, часто розбиваючись на один пікову і непікову ціну. Наприклад, електроенергія, яка використовується о 19 годині у вечірній час у похмурому холоді вівторок, у лютому, може мати таку ж ціну як і електрика, що використовується в 9 годин ранку в сонячну середу в травні. Хоча для постачальника електроенергії ціна на виробництво цієї енергії буде значно відрізнятися.

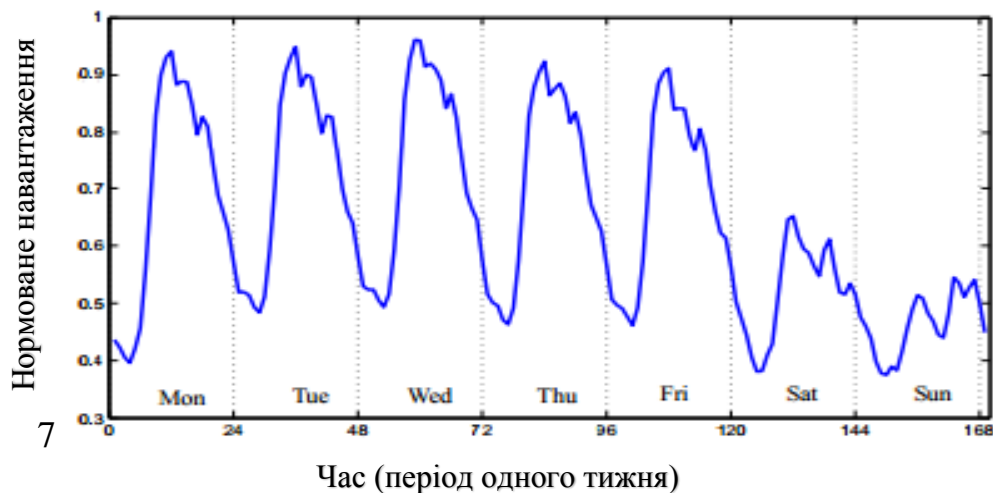


Рисунок 3.1 – Нормований тижневий графік електричного навантаження на бельгійську мережу

На рисунку 3.1 представлений типовий щотижневий профіль енергонавантаження на бельгійську мережу [17]. Більше ніж удвічі більше енергії використовується в пікові години, ніж в години провалу. Фіксована частина енергії (нижня межа графіка) покривається установками, такими як ядерна, вугільна, гідроелектростанція, біомаса та геотермальні установки. Ці станції постійно генерують енергію, за низькою ціною. Піки енергоспоживання покриваються піковими електростанціями (наприклад, газовими турбінами). У

порівнянні з кількістю енергії, яку вони виробляють, пікові електростанції дорогі. Чим рівніший графік енергонавантаження, тим більше енергії може бути вироблено на базових електростанціях, і тим дешевша енергія буде для всіх. Крім того, мережа (всі кабелі, станції, підстанції, трансформатори тощо) повинна витримувати пікове навантаження. Чим нижче пікове навантаження, тим дешевша мережа.

Поточні тарифи на електроенергію залишаються незмінними протягом тижнів, місяців або навіть (за деякими контрактами) років. Окрім принципової різниці між днем та ніччю не існує грошових стимулів для клієнтів переносити їхнє споживання, наприклад, з піку о 9 годині на обід о 15 годині.

У 'Smart grid', можна буде представити більш динамічний спосіб ціноутворення. Ціни на енергоносії можуть змінюватися щогодини, а розумні лічильники можуть бути проінформовані про поточні та майбутні ціни. Технологія 'Smart grid' робить можливим динамічне ціноутворення. Оскільки ціна на енергію може стати важливим стимулом для зниження пікового енергоспоживання, можна очікувати, що в майбутньому буде впроваджено динамічне ціноутворення.

Якщо всі користувачі приймуть рішення використати велику кількість енергії о 9 годині, постачальник електроенергії повинен буде використовувати дорогі пікові установки для забезпечення попиту. Ця висока вартість виробництва матиме вплив на ціну на електроенергію о 9 годині. Лінійне збільшення кількості використаної електроенергії (наприклад, + 5%) спричинить більш ніж лінійне збільшення ціни на електроенергію (наприклад, + 25%).

Коли значна частина енергопостачання надходить від періодичних відновлюваних джерел енергії, функція ціноутворення буде складнішою. Вітер і сонячна енергія не можуть бути сплановані. Однак це можна прогнозувати на кілька днів, виходячи з моделей погоди. В часи, коли велика кількість поновлюваних джерел енергії буде доступною, буде добре мати більші

електронавантаження, тому ціна за одиницю в такому випадку не обов'язково збільшиться, якщо загальна навантаження зростатиме.

### **3.3 Планування роботи приладів та управління ними**

Не кожний прилад має запускатися відразу після запиту. Наприклад: при користуванні посудомийною машиною метою є чиста посудина до завтрашнього ранку, а не відразу після натискання кнопки користувачем. З іншого боку, при включенні телевізора, метою є дивитися телевізор цей же момент. Телебачення, радіо, фен і освітлення – це приклади пристроїв, які не підходять для зміщення навантаження.

Кінцеві споживачі мають грошові мотиви, вони хочуть платити якнайменше за свою електрику, при максимальному комфорті. Вони хочуть мати змогу дивитися телевізор та вмикати світло коли завгодно. Для пристроїв роботу яких можна змістити, вони можуть захотіти змінити споживання енергії, але максимально комфортно.

Досить часто енергетичні компанії зосереджувалися на тому, щоб узгодити пропозицію з попитом. Управління попитом скасовує цей принцип і прагне змінити характер попиту, щоб відповідати від відповідав пропозиції. Це часто здійснюється за допомогою фінансових методів: плата за енергію в пікові періоди знижує піковий попит.

Проте з цінами, що змінюються в реальному часі та миттєвою реакцією від 'розумного лічильника' це може призвести до нестабільної ситуації. Можливий такий сценарій: у певний момент енергія дешева. Власники смарт-лічильника мають великі переваги. Лічильник зв'яжеться з мережею та усвідомлює, що ціни низькі. Тоді він може прийняти рішення використати цю дешеву енергію для однієї або декількох приладів, без будь-якого втручання людини.

Вищезазначений сценарій звучить спокусливо, але має великі ризики: якщо у велику кількість домогосподарств обладнано розумними лічильниками, це може означати, що раптом велика кількість приладів практично одночасно

починає споживати електроенергію. Очікувано, що ціни знову підвищяться. Ймовірно цей ланцюг подій закінчиться та буде встановлено рівновагу.

### 3.4 Концепції теорії ігор та математична модель

Даний сценарій, наведений в попередньому пункті можна описати та імітувати за допомогою понять з теорії ігор. Розумні, вимірювальні прилади, які вирішують, купувати енергію в певний момент чи ні, з урахуванням очікувань власника будинку, насправді грають в некооперативну гру. Рішення розумного лічильника базується на ціні на енергію, тоді як ціна на енергію залежить від того, що вирішують інші розумні лічильники.

Гра визначається як ситуація з трьома компонентами:

- набір гравців;
- для кожного гравця набір можливих стратегій  $(S_i)_{i \in N}$ ;
- для кожного гравця функція корисності  $(u_i)_{i \in N}$ .

Оскільки кожен користувач намагається оптимізувати свою функцію корисності, це може вплинути на функцію корисності інших користувачів, можливо, викликаючи ланцюг подій. У найгіршому випадку цей ланцюжок подій нескінченний. Бажано, за обмежену кількість кроків досягнути стан, в якому всі користувачі оптимізували свою функцію корисності та вирішили не вживати жодних подальших дій. Цей стан називається Рівновага Неша і визначається наступним чином:

Рівновага гри Неша – це вектор таких стратегій  $\vec{s}^* \in S_i$ , що для кожного  $i$ -го гравця:

$$u_i(s_i^*, \vec{s}_i^*) \geq u_i(s_i, \vec{s}_i^*) \quad (3.1)$$

Рівновага Неша це стабільна ситуація, в якій ніякий з гравців в односторонньому порядку не може поліпшити свою корисність, враховуючи, що дії всіх інших фіксовані. [17]

Передбачається, що (на підставі історичних даних роботи домогосподарств) кожен розумний лічильник знає енергетичні потреби домашнього господарства на наступний день. Розумні лічильники спробують запланувати змінні пристрої таким чином, щоб витрати на енергію домогосподарства були мінімізовані. Це завдання для управління попитом називається проблемою планування завантаження. Математична модель, заснована на теорії ігор, що представляє цю задачу планування навантаження:

- набір гравців  $N$ , за визначенням гри, в цьому випадку є набором домогосподарств;
- функція корисності  $(u_i)_{i \in N}$  – у цьому випадку вартість електроенергії гравця  $i$ ;
- набір можливих стратегій  $(s_i)_{i \in N}$  для гравця  $i$  – це його профіль використання енергії протягом дня; [19]

Проте через ряд факторів, таких як далека перспектива встановлення розумних лічильників, відсутність можливості перевірки даних, отриманих в результаті пошуку стану рівноваги, а також необхідності застосування складних математичних обчислень для знаходження оптимального рішення, розрахунку за даною моделлю не виконувалися.

### Висновки

Результатами даного розділу є опис ситуації, що складається на лібералізованому ринку електричної енергії з математичної точки зору. Таким чином було встановлено поняття:

1. Динамічного ціноутворення та можливих варіантів формування функції ціни на електроенергію.
2. Визначено обмеження та можливості планування роботи електроприладів.
3. Визначено компоненти математичної моделі, такі як набір гравців, функція корисності та можливі стратегії поведінки гравців.



4. Відкинуто можливість пошуку оптимального рішення розподілу споживання через складність та громіздкість обчислень.

#### 4. МОДЕЛЮВАННЯ ЙМОВІРНІСНОГО ЕФЕКТУ ВПЛИВУ ПРОГРАМ РЕАГУВАННЯ ПОПИТУ НА КРИВУ ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕННЯ

##### 4.1 Реакція попиту на зміну цінового сигналу на конкурентному ринку електроенергії

В даному розділі розглядається моделювання споживання електроенергії певною кількістю домогосподарств із набором типових електроспоживачів. Передбачається розгляд різних сценаріїв поведінки споживачів.

Для моделювання обрано наступний перелік споживачів (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Типові споживачі електроенергії в домогосподарстві

№	Ім'я	Потужність, кВт
1	Освітлення	0,2-0,3
2	Чайник	2
3	Електроплита	2
4	Кавоварка	1
5	Праска	2
6	Мікрохвильова піч	1
7	Кухонний комбайн	2
8	Холодильник	1
9	Пилосос	1
10	Телевізор	0,5
11	Комп'ютер	0,5
12	Посудомийна машина	2
13	Пральна машина	2
14	Сушка для одягу	2

Розподіливши години роботи протягом доби, отримано добовий графік навантаження одного підприємства (рисунок 4.1).

Помітно пікове навантаження в ранкові та вечірні години. Також наявний провал графіку в нічні години, та протягом дня. Необхідно відзначити, що дане моделювання виконувалося на півгодинних інтервалах, та сталому рівні споживання на для кожного пристрою.

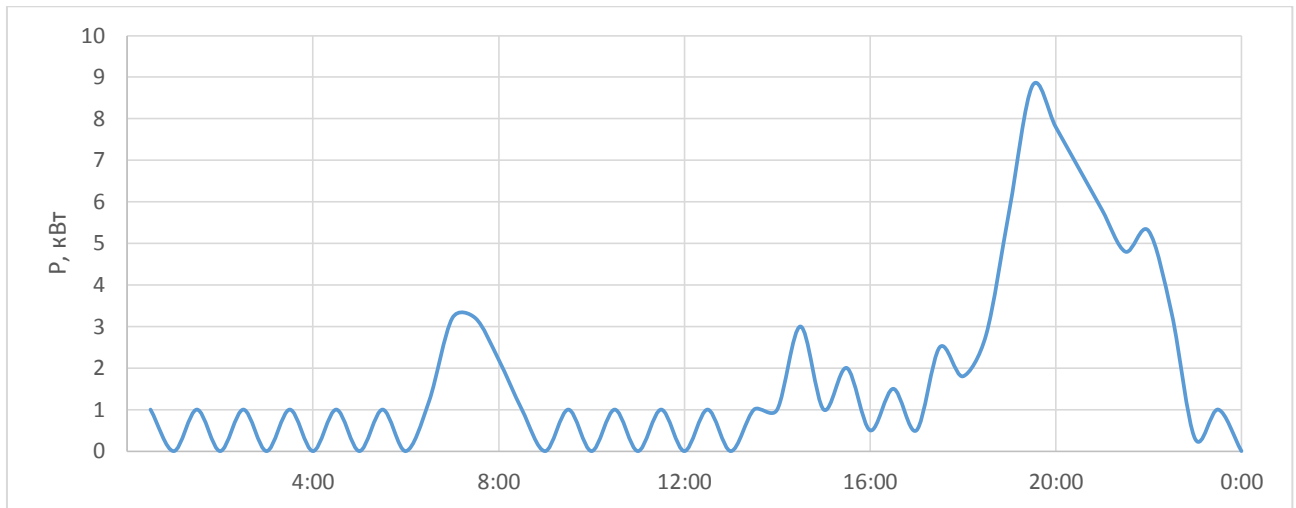


Рисунок 4.1 – Добове навантаження домогосподарства

Одне домогосподарство не може відобразити повної картини навантаження на мережу, тому симуляція проводиться для 1000 аналогічних об'єктів (з відповідним набором пристроїв). Просте пропорційне збільшення споживаної потужності не дасть правдоподібних результатів, адже час роботи більшості пристроїв може бути різним в різних домогосподарствах. Для визначення часу роботи кожного пристрою в окремому домогосподарстві використано теорію ймовірності. А саме, кожен з пристроїв має певну кількість варіантів часу початку роботи. Для визначення такого у кожному окремому випадку використовується випадкова величина, яка є розподілена згідно нормальним законом розподілу. Результати симуляції показано на рисунку 4.1. Помітні піки навантаження у вечірні та ранкові години. Стрибкоподібні зміни графіка пояснюються невеликою кількістю часових інтервалів (48). При збільшенні даного числа, подібні неточності усуваються.

Варто відзначити наявність реакції попиту на зміну цінового сигналу. Таким чином більшість споживачів матиме стимул для зміщення навантаження на нічні години (якщо це можливо). В даному випадку зміщуваним навантаженням вважається: пральна машинка, сушка для одягу та посудомийна машина. Відповідно до обмежень, обрано можливі для кожного пристрою години роботи.

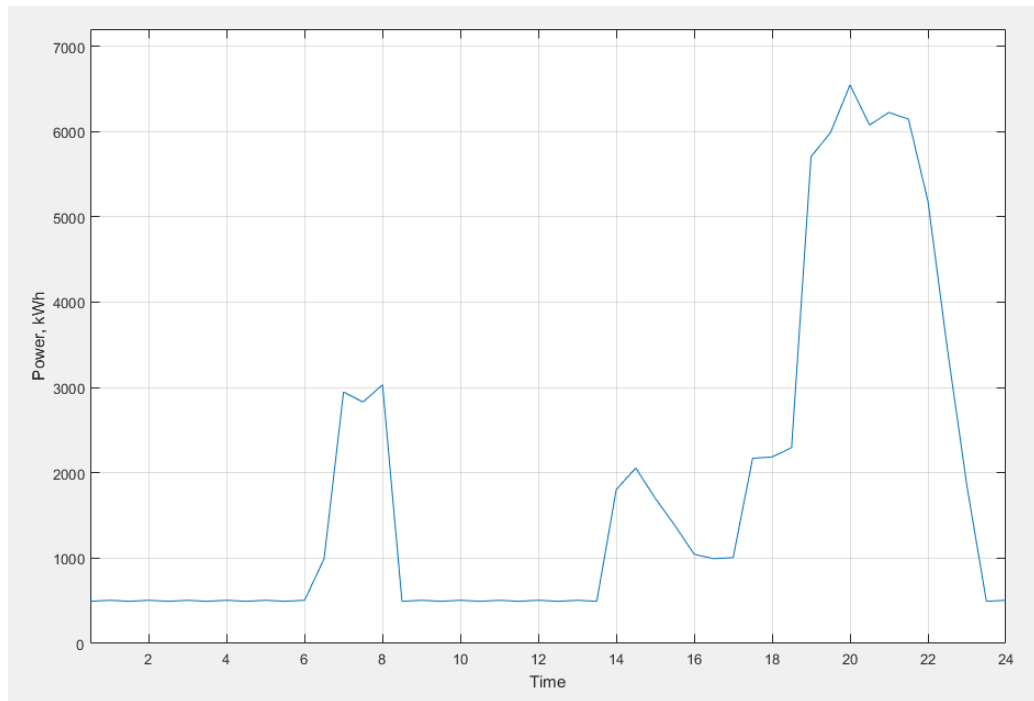


Рисунок 4.2 – Модель добового навантаження для 1000 споживачів

Наприклад для посудомийної машини мінімальний час початку роботи становить 19:30, максимальний час завершення 6:00, тривалість роботи 2 години, споживана потужність 2 кВт. Дана модель роботи є базовою, та може бути редагована чи деталізована.

Для створення стимулу зміщення навантаження, приймемо що ціна на електроенергію є залежною від навантаження в конкретний момент часу. Для простоти обчислень, приймається, що ціна:

$$Pr = p^2, \quad (4.1)$$

де  $p$  – навантаження в даний момент часу, кВт.

Результати симуляції в програмному середовищі MatLab показані на рисунку 4.3. Варто відзначити, що кількість спожитої енергії згідно результатів першого та другого моделювання є однаковою та становить 43 050 кВт·год. Проте вартість електроенергії значно відрізняється:

$$P_{sum} = \sum_{i=1}^n Pr_i \cdot p_i, \quad (4.2)$$

де  $i, n$  – відповідний часовий інтервал, в даному випадку щопівгодини ( $n=48$ ).

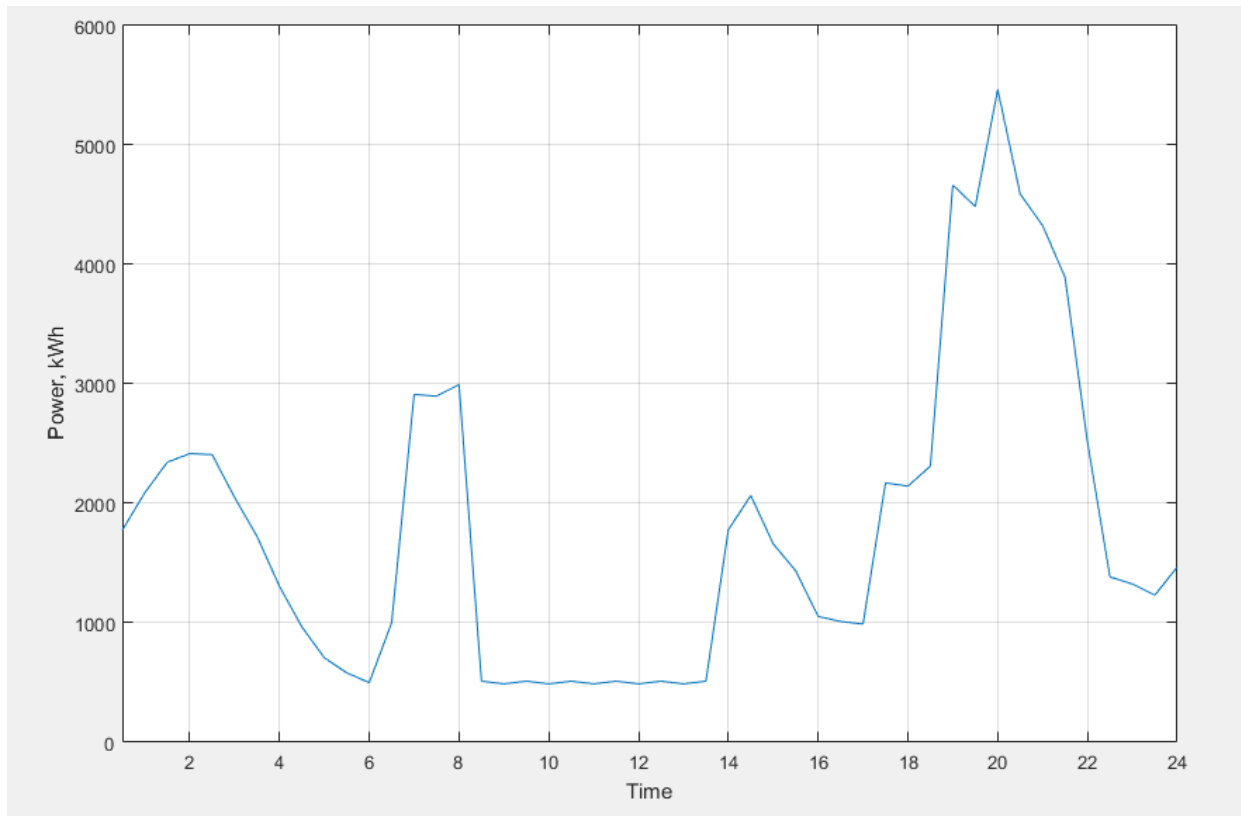


Рисунок 4.3 – Модель графіку навантаження за умов зміщення часу роботи пристроїв

Для випадку, коли споживачі не зміщують навантаження вартість становить  $8,5 \cdot 10^{11}$  умовних грошових одиниць. Під час моделювання, в процесі якого споживачі знижують пікове навантаження, сумарна вартість складає –  $4,15 \cdot 10^{11}$ . Отже, за даних умов вартість знижується на 50%.

Необхідно відзначити результати моделювання, зображеного на рисунку 4.3. В першу чергу помітні піки навантаження в ранкові та вечірні години, проте вони значно нижчі ніж аналогічні значення попередньої симуляції. Також варто звернути увагу на значне навантаження в нічні години, що свідчить про ефективний результат керування попитом. В даній моделі було зроблено припущення, що всі домогосподарства мають однакові можливості щодо зміщуваного навантаження. Проте в реальних умовах, це не так, тому модель може бути пристосована до інших даних.

## 4.2 Модель реагування попиту за наявної можливості накопичення енергії

Як було згадано в попередніх розділах, електромобілі можуть відігравати важливу роль при формуванні графіку навантаження, особливо для домогосподарств. Для формування моделі енергоспоживання зроблено наступні припущення:

- 25% домогосподарств мають електромобіль;
- загальна ємність акумулятора електромобіля 30 кВт·год;
- щодня акумулятор є розрядженим наполовину;
- процес зарядження може розпочинатися від 23:00 до опівночі та триває до повної зарядки акумулятора.

Результати симуляції показано на рисунку 4.4. Помітно, що пікові значення не змінилися, проте попит на електроенергію виріс в нічні години.

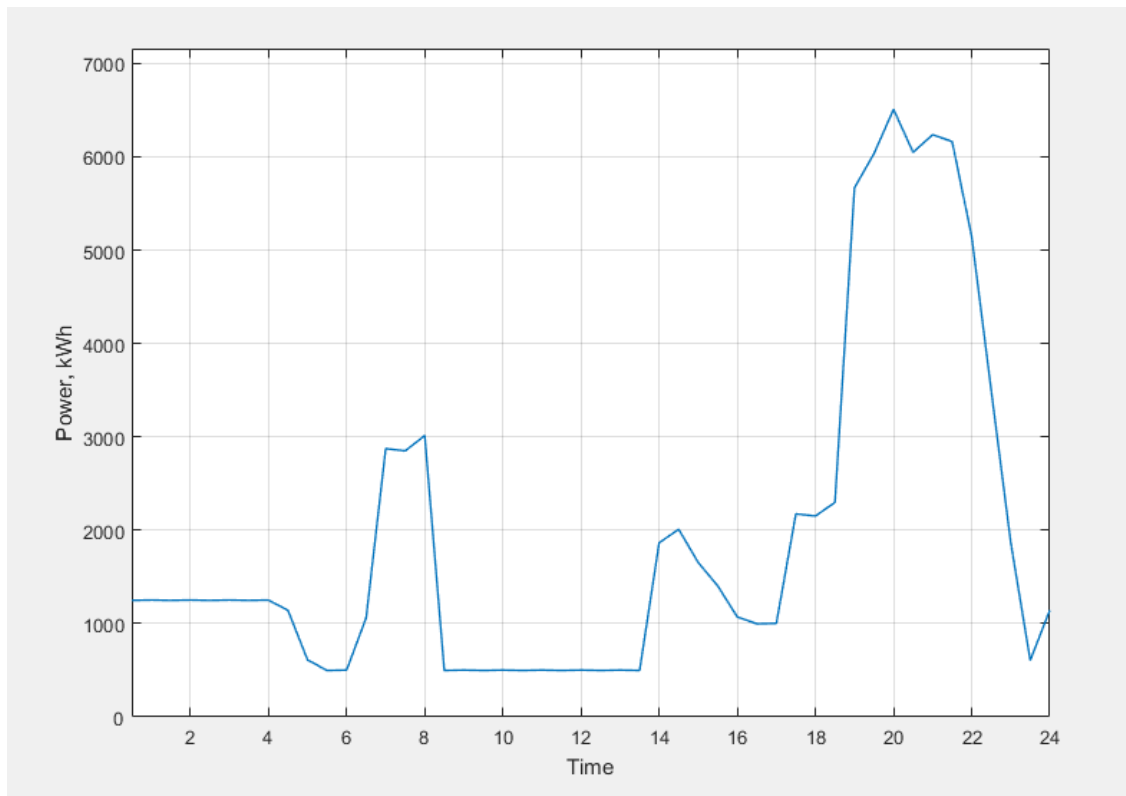


Рисунок 4.4 – Модель енергоспоживання за наявності електромобілів

За результатами симуляції, кількість спожитої електроенергії складає 46 800 кВт·год, що на 9% більше ніж за результатами симуляції за відсутності

електромобілів. Загальна вартість електричної енергії склала  $8,6 \cdot 10^{11}$  умовних грошових одиниць.

Слід відмітити, що існує можливість знизити пікове електронавантаження кожного домогосподарства за рахунок споживання електроенергії, накопиченої в акумуляторі електромобіля. Для формування нової моделі енергоспоживання зроблено додаткові припущення:

- доступна кількість електроенергії для споживання домогосподарством складає 25% від повного заряду (7,5 кВт·год);
- процес зарядження може розпочинатися о 23:00 та має закінчитися до 6:30;
- зарядження триває до повної зарядки акумулятора.

Таким чином розглянуто 3 можливі варіанти покриття піку для кожного з домогосподарств, де наявний електромобіль. За результатами симуляції, вартість зменшилась та склала  $3,8 \cdot 10^{11}$  умовних грошових одиниць. Результати показані на рисунку 4.5. Програмний код наведений у Додатку Б.

Слід зазначити, що загальний вигляд графіка навантаження є схожим в симуляції №1 та №4. Але у випадку, коли четверта частина усіх споживачів має у розпорядженні електромобіль та використовує його батарею для зниження пікового навантаження, вечірній пік знижується, а нічне споживання зростає. Так, як загальне навантаження електричної мережі буде формуватися також іншими об'єктами, як промисловими, так і офісними, зазначена зміна форми графіку навантаження саме домогосподарств матиме позитивний вплив на сумарну криву електроспоживання.

Для підтвердження впливу зміни графіку навантаження домогосподарств, наведено відповідні розрахунки. Для проведення аналізу режимів споживання електричної енергії розраховано наступні коефіцієнти.

Коефіцієнт нерівномірності графіка навантаження, який характеризує розкид графіка:

$$K_H = \frac{P_{min}}{P_{max}} \quad (4.3)$$

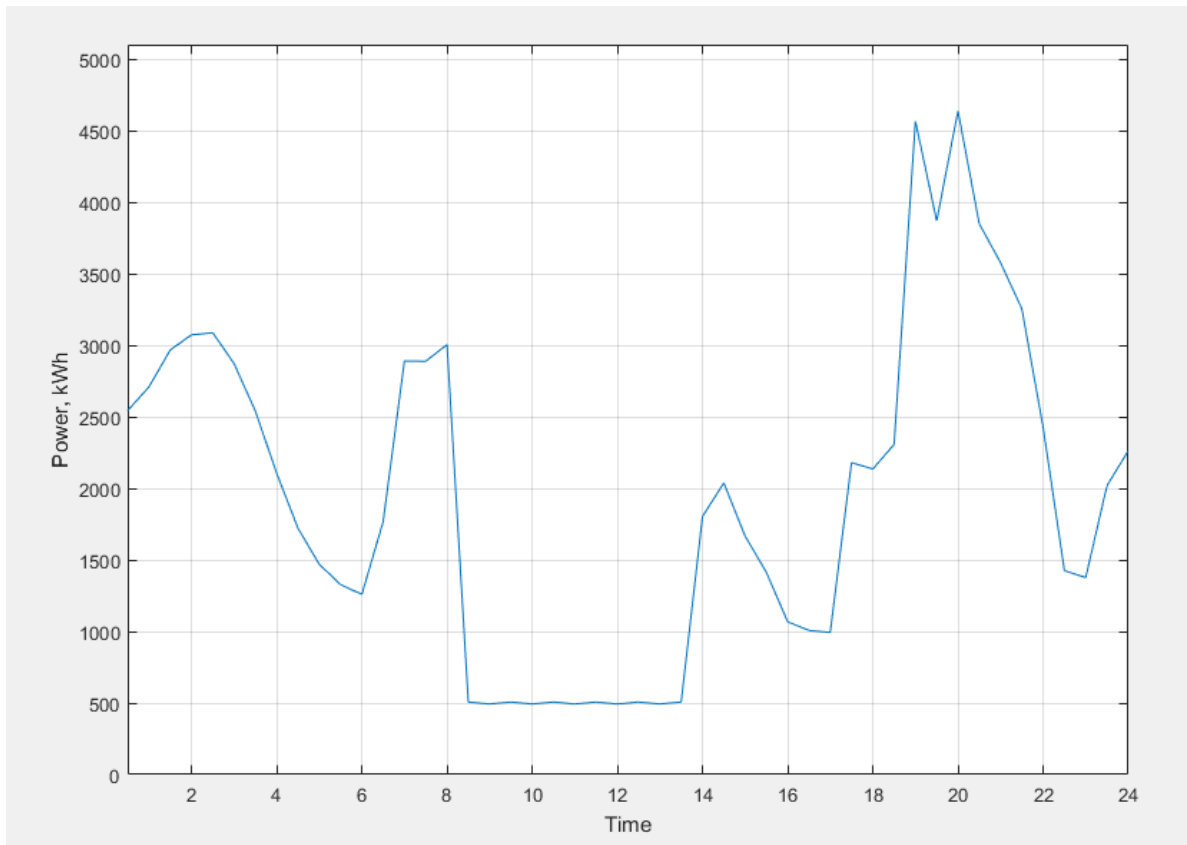


Рисунок 4.5 – Моделювання енергоспоживання з наявними електромобілями та акумуляцією енергії

Коефіцієнт максимуму, який слугує для відображення відхилення максимально значення від середнього навантаження і визначається за формулою:

$$K_{max} = \frac{P_{max}}{\bar{P}} \quad (4.4)$$

Коефіцієнт заповнення графіка, який характеризує нерівномірність графіка з точки зору відхилення середньої потужності від максимальної.

$$K_3 = \frac{\bar{P}}{P_{max}} \quad (4.5)$$

Розрахунки наведено для першої моделі, де відсутні електромобілі та зміщуване навантаження.

$$K_H = \frac{479}{6647} = 0,072,$$



$$K_{max} = \frac{6647}{1794} = 3,71,$$

$$K_3 = \frac{1794}{6647} = 0,27.$$

Результати обчислень зведено до таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Розрахункові коефіцієнти результатів моделювання

Модель	$K_n$	$K_{max}$	$K_3$
Базова	0,072	3,71	0,27
Із електромобілями	0,073	3,3	0,3
Зі зміщуваним навантаженням	0,090	3,06	0,33
Зі зміщуваним навантаженням та електромобілями	0,103	2,43	0,41

Незважаючи на той факт, що отримані показники неможна назвати високими, проте помітно позитивну тенденцію, та значні зміни. Для наочності, всі графіки отриманих моделей зображено на рисунку 4.6.

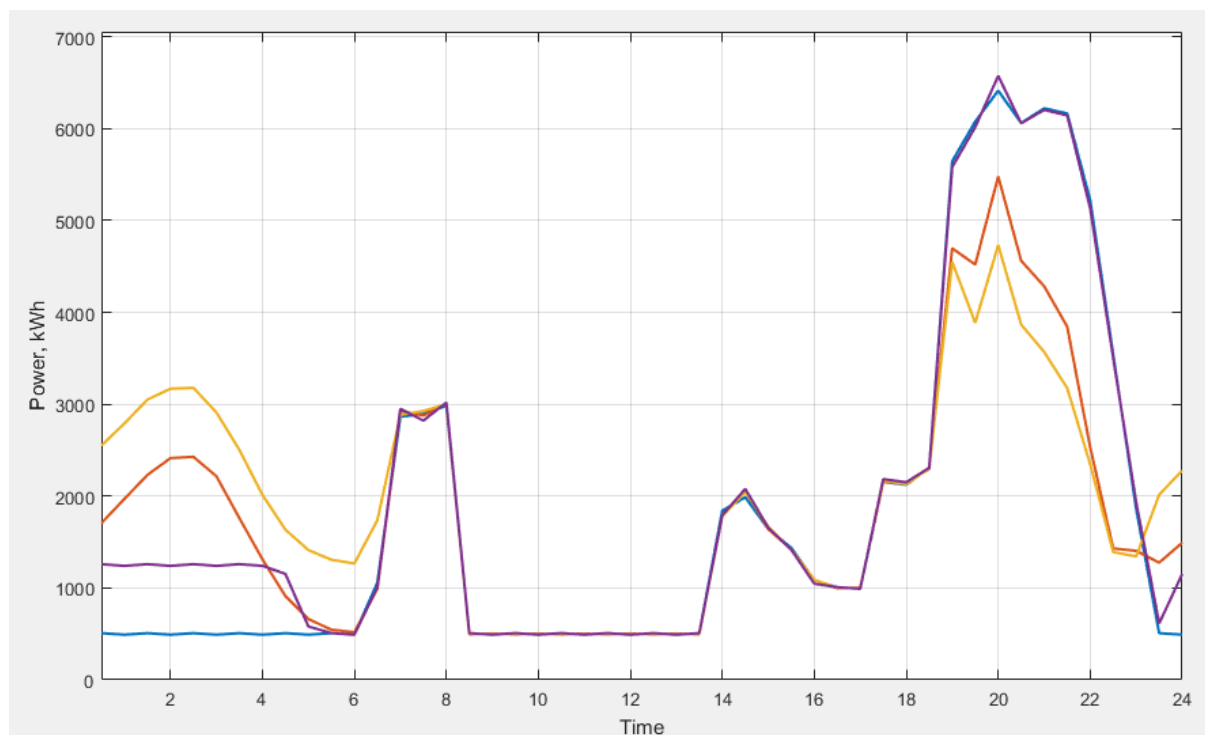


Рисунок 4.6 – Порівняння результатів симуляцій: — базова модель, — наявне зміщене навантаження, — наявний електромобіль у 25% домогосподарств, — електромобіль використовується для зниження пікового навантаження

Деякі з пристроїв є незміщуваним навантаженням, та включаються споживачами за власним бажанням та нагальною потребою. Провал протягом в середині доби пояснюється відсутністю мешканців в приміщенні.

#### **4.3 Аналіз ймовірнісного впливу виробництва електроенергії ВДЕ на реагування попиту на електроенергію**

Як вже було згадано, всі вище отримані моделі енергоспоживання домогосподарствами є лише прикладом. Це означає, що для використання їх в реальних умовах потрібно виконати ряд змін та допрацювань. В першу чергу, слід пов'язати модель з базою даних, яка оновлюється в режимі реального часу. База даних повинна містити інформацію про кожне домогосподарство, де якомога детальніше наведено перелік електроспоживаючих пристроїв, їх потужності та можливий час роботи.

Крім того, варто перевірити практичну достовірність результатів прогнозування виконаних за допомогою даних моделей, порівнявши їх зі статистичними даними. При наявності значних відхилень під час процесу моделювання, є можливість змінити закон розподілу, що використовується для прогнозування часу роботи того чи іншого пристрою.

Також, для покращення точності прогнозування існує можливість збільшити кількість інтервалів, що розглядаються, тобто зменшити часові проміжки, наприклад до хвилини чи кількох. Таким самим чином потрібно збільшити кількість можливих варіантів включення та виключення пристроїв. До того ж, програму можна ускладнити, якщо ввести додатково фактор зміни потужності протягом часу роботи пристрою.

Звісно, всі вище згадані покращення стосуються лише технічного обладнання та програмного забезпечення, та можуть бути реалізовані за наявності достатніх комп'ютерних обчислювальних потужностей.

Проте, варто також згадати про інші ймовірні зміни даної моделі, що стосуються безпосередньо самого типу домогосподарств. Із впровадженням змін, та переходом до лібералізованого ринку електроенергії, кожне окреме домогосподарство вважається активним споживачем, тобто таким, що може як споживати так і генерувати електричну енергію. Дана енергія може бути використана для власних потреб, або продана в мережу.

Джерелами такої генерації ймовірно будуть відновлювані джерела енергії (ВДЕ). Серед ВДЕ, наявних в Україні, слід відзначити:

- малі гідроелектростанції (ГЕС);
- сонячні електростанції (СЕС);
- вітрові електростанції (ВЕС);
- тверда біомаса;
- біогаз.

Згідно із статистичними даними ВДЕ розвиваються в Україні та світі, та частка електроенергії вироблена за допомогою них продовжує зростати щороку. За останні три роки в Україні 3010 приватних домогосподарств встановили сонячні електростанції загальною потужністю 51 МВт. Більшість сімей, а саме - близько 2 тис. родин, перейшли на «чисту» електроенергію у 2017 році.

Зокрема, у IV кварталі 2017 р., не дивлячись на зимовий період, перевагу «чистій» електроенергії надали 687 домогосподарств, що на 30% більше порівняно з III кварталом того року.[20]

Джерела енергії, які можуть бути використані в пересічному домогосподарстві, це вітрова та сонячна енергетика. Через непостійність та незначну швидкість вітрів у більшості регіонів країни, застосування ВЕС має значні обмеження. З іншого боку, використання СЕС на території має хороші

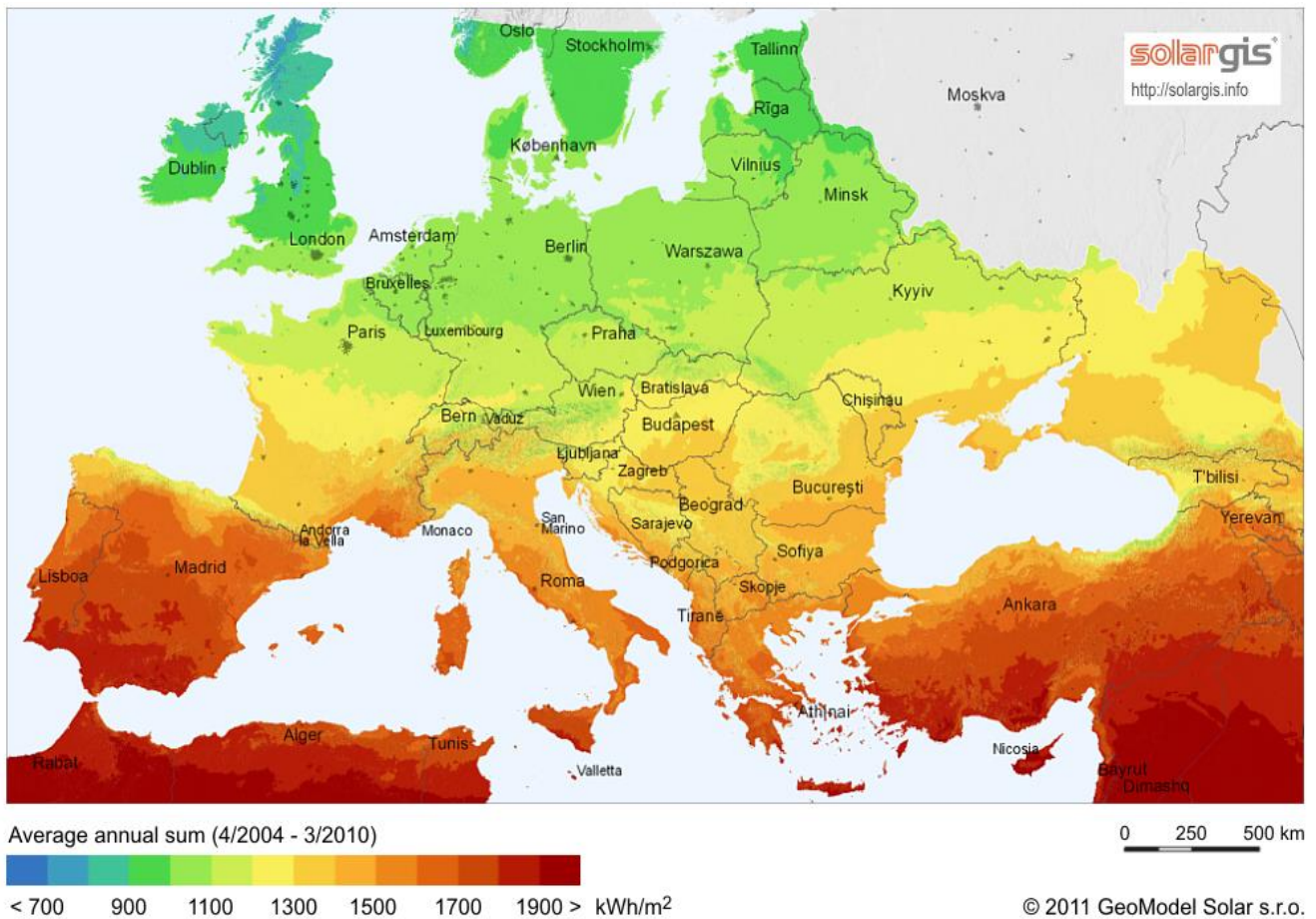
перспективи. Значна частина регіонів України має хороші показники сонячної інсоляції, що показано на рисунку 4.7.

Важливим є той факт, що «зелені» тарифи для домогосподарств в Україні є досить високими. Зокрема, для приватних домогосподарств, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики, величина встановленої потужності яких не перевищує 30 кВт, та які введені в експлуатацію з 01 січня 2017 року по 31 грудня 2019 року – 587,05 коп/кВт·год (без ПДВ). Для порівняння, в той же час найвище значення тарифу на електроенергію для населення складає 140 коп/кВт·год (без ПДВ). [21]

Таким чином, під час моделювання енергоспоживання об'єкта з наявною СЕС, необхідно враховувати ряд наступних параметрів:

- географічне розташування;
- площа сонячних панелей;
- встановлена потужність панелей;
- кут нахилу панелей;
- тип сонячних панелей;
- загальна ефективність перетворюючої системи;

– можливі режими роботи (генерація для власного споживання чи



продаж електроенергії у мережу).

Рисунок 4.7 – Карта сонячної інсоляції для Європи [22]

Відповідно географічне розташування впливає на інтенсивність та тривалість сонячної інсоляції. Під час врахування даного аспекту в процесі моделювання, слід також звертати увагу на прогноз погоди, адже хмарність значною мірою впливає на рівень інсоляції. Або є можливість звернутися до наявних архівних даних за минулі роки.

Встановлена потужність, кут нахилу, напрям, тип панелей та тип перетворювачів визначають загальний рівень утилізації енергії сонячного випромінювання та її перетворення.

Режим роботи системи визначає наявність та кількість акумуляторних батарей для забезпечення можливості накопичення електроенергії та

використання її в пікові години доби. Слід звернути уваги, що батареї значно здорожчують систему. Беручи до уваги, що «зелений» тариф перевищує тариф на споживання електричної енергії, встановлений сьогодні, більш доцільно буде прийняти рішення продавати електричну енергію в мережу. Проте, якщо припустити, що ціна на спожиту електроенергію буде залежати від рівня споживаної потужності доцільність власного використання генерованої енергії в пікові години може покращитися.

### **Висновки**

В даному розділі було виконано моделювання споживання електроенергії домогосподарством та набором домогосподарств, використовуючи нормальний закон розподілу для прогнозування часу роботи пристроїв. Було проаналізовано вплив зміщеного навантаження на вигляд кривої енергоспоживання. Також було розглянуто можливість використання енергії, накопиченої в акумуляторі електромобіля. Показниками для порівняння отриманих результатів були вартість електричної енергії, як квадратична функція від навантаження та коефіцієнти нерівномірності, заповнення та максимуму. Слід відзначити, що симуляції виконувалися значну кількість разів, проте результати були практично ідентичними.

Наступні висновки були отримані:

1. За допомогою нормального закону розподілу випадкової величини досить точно можна змоделювати поведінку споживачів.
2. Зміщене навантаження значно знижує вартість електричної енергії.
3. Наявність електромобілів у домогосподарствах та використання їх акумуляторів для зниження піку незначною мірою збільшує кількість спожитої електроенергії, проте знижує її загальну вартість.
4. Було розглянуто додаткові можливості для удосконалення даної моделі та перспективи розвитку сонячної енергетики для приватних домогосподарств.

## 5 ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ В СФЕРІ РЕАГУВАННЯ ПОПИТУ НА ЗМІНУ ЦІНОВОГО СИГНАЛУ (СТАРТАП-ПРОЕКТ).

### 5.1 Опис ідеї проекту

Як було визначено в попередньому розділі, наявність електромобілів в домогосподарстві значно розширює можливості зниження пікових навантажень. Використання акумульованої в батареях електроенергії знижує вартість енергії. Для порівняння, результати наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вартість енергії при різних сценаріях поведінки споживачів

Модель	Частка домогосподарств з електромобілями, %	Спожита електроенергія, кВт·год	Вартість електроенергії, умовних грошових одиниць
Базова	0	43 050	$8,5 \cdot 10^{11}$
Із електромобілями	25	46 800	$8,6 \cdot 10^{11}$
Зі зміщенням навантаженням	0	43 050	$4,15 \cdot 10^{11}$
Зі зміщенням навантаженням та електромобілями	25	46 800	$3,8 \cdot 10^{11}$

Слід згадати, що в даній роботі ціна електроенергії приймалася як квадратична функція від навантаження. Отже порівнюючи дані симуляції, помітно що додаткове навантаження до базової моделі у вигляді електромобілів лише незначною мірою збільшує кількість спожитої енергії та практично не змінює її вартості. Це випадок, коли енергія з акумуляторів не споживається домогосподарством. В той же час, якщо споживачі вже зміщують навантаження на нічні години, то використання електромобілів та їх використання для покриття піку додаткового знижує вартість електроенергії.

Це свідчить про те, що застосування акумуляторів електромобілів сприяє зниженню піку та знижує вартість в будь-якому випадку. Таким чином пропонується втілювати дану ідею в домогосподарствах. Зниження пікового навантаження сприяє вирівнюванню загального графіка навантаження, що має значний позитивний вплив на енергосистему в цілому.

Отже, суть ідеї полягає у встановленні «розетки», яка забезпечить можливість зарядки електромобіля та споживання енергії, що накопичена в його батареях для побутових потреб. Більш детальний опис показано в таблиці 5.2. Аналіз проекту виконувався згідно [23].

Таблиця 5.2 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Встановлення зарядних станцій для електромобілів з можливістю споживання акумульованої енергії	Встановлення в будівлях різного типу:	Безпечний та зручний процес зарядки.
	-приватних будинках	Використання наявного заряду для власного споживання в пікові години
	-багатоквартирних будинках	Облаштування зарядних станцій на паркувальних майданчиках та використання заряду в пікові години
	-офісних приміщеннях	Облаштування зарядних станцій для зручності працівників, та можливе використання заряду в пікові години
	-підприємствах	За наявності великого автопарку електромобілів існують можливості зменшення пікового навантаження

В першу чергу, увага звертається на можливість встановлення даних пристроїв в приватних будинках. В разі успіху, реалізація проекту може бути розширена і на інші типи об'єктів.



Найближчими аналогами можна вважати фірмовий зарядний пристрій від компанії Tesla: High Power Wall Connector (HPWC) або звичайні з'єднувальні кабелі, які є в комплекті кожного електромобіля та працюють як і від звичайної розетки так і від трифазної. Проте, вищеназвані прилади забезпечують лише зарядження акумулятора, а процес споживання енергії з нього є неможливим. Прилади, що можуть конкурувати з даним стартап-проектом з метою зниження пікового навантаження це акумуляторні батареї, можливо в комплекті з ВДЕ (наприклад вітрова установка чи дахова сонячна електростанція) або дизель-генератори.

Для аналізу всіх особливостей даних приладів детальну інформацію щодо технологічних характеристик зведено в таблицю 5.3, де конкурент 1 є простим зарядним пристроєм, конкурент 2 – акумуляторна батарея з ВДЕ, конкурент 3 – дизель-генератор. W – слабка сторона, N – нейтральна сторона, S – сильна сторона.

Таблиця 5.3 – Визначення характеристик проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні концепції конкурентів				W	N	S
	Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
Зарядження електромобіля	Наявне	Наявне	Відсутнє	Відсутнє		+	
Покриття піку	Наявне	Відсутнє	Наявне	Наявне		+	
Генерація енергії	Відсутня	Наявне	Наявна	Наявна	+		
Вартість енергії	Змінна	Незмінна	Низька	Висока			+
Вартість установки	Низька	Низька	Висока	Низька			+
Мобільність	Неможлива	Неможлива	Неможлива	Можлива	+		

Підсумовуючи наведену вище інформацію, запропонований проект поєднує в собі особливості конкурентів. Таким чином він є унікальним, адже не має аналогів.

## 5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Для визначення технологічної складності проекту необхідно розглянути особливості варіантів його реалізації, а також стан технологій, які залучені. Для проведення аналізу наявну інформацію занесено в таблицю 5.4.

Таблиця 5.4 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Встановлення зарядних станцій для електромобілів з можливістю споживання акумульованої енергії	Зарядний пристрій на одну фаз, напругою 220В	Наявна	Проста в доступі
	Трифазний зарядний пристрій, напругою 380В	Наявна	Можуть виникнути складнощі у вигляді необхідності прокладення додаткових ліній
	Високотужний зарядний пристрій	Наявна	Прокладання додаткових потужностей може бути проблематичним у деяких випадках
Встановлення зарядних станцій для електромобілів в поєднанні з ВДЕ	Комбінована система, що поєднує генерацію, споживання та акумулювання енергії	Наявні	Технології доступні, але потребують значної кількості компонентів

За результатами аналізу технічної здійсненності, можна сказати, що варіанти реалізації є доступними. Вибір пріоритетного способу реалізації повинен здійснюватися залежно від конкретних умов проекту. Наприклад комбінована система є найбільш ефективною з точки зору масштабів керування

власним попитом на енергію, проте вона є найбільш складною з технічної точки зору та високовартісною.

Високопотужний зарядний пристрій забезпечує маневреність процесу зарядного пристрою, адже дозволяє значно скоротити час зарядки, або навпаки віддати високу потужність на споживання домогосподарством. Капіталовкладення порівняно незначні, проте проблема полягає в тому, що в деяких ситуаціях, може не бути можливості додаткового збільшення потужності.

Трифазний зарядний пристрій є оптимальним рішенням. В більшості випадків доступність трифазної мережі не є проблемою і відповідно рівень потужності є задовільним. Проте, якщо наявна лише однофазна мережа на 220В, є можливість поставити однофазний зарядний пристрій, що матиме незначні капіталовкладення. Але з іншого боку, рівень потужності на виході буде невисоким, тому процес зарядження електромобіля може бути значним. Також, можна бути лише незначною мірою знизити пікове навантаження.

### **5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту**

Судячи з того, що на ринку на даний момент відсутні конкуренти, важко оцінити ринок та його динаміку. Можна очікувати зростання попиту зумовлене реакцією попиту на ринку електроенергії. Необхідно визначити потенційні групи клієнтів та їхні характеристики. Орієнтовний перелік наведено в таблиці 5.5.

Проте слід відмітити, що дана продукція, виробництво якої передбачає даний стартап потребує стандартизації, так як це електричне обладнання.

Важливо відзначити той факт, що дана ідея є доцільною лише за припущення, що ціна на електроенергію буде змінною та значним чином залежатиме від навантаження.

Наразі провести аналіз конкуренції на ринку є неможливим, так як ринок ще не сформований. Можливо зробити припущення щодо того яким буде

конкурентне середовище: чиста, внутрішньогалузева, національна, товарно-видова, цінова, конкуренція.

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Базова потреба заряджати електромобіль	Приватні (фізичні) особи, домогосподарства	Можливий більший час зарядження, та менші потужності, зарядження відбувається вночі	– надійність – швидкодія
	Юридичні особи (компанії)	Необхідний коротший час зарядження, більші потужності, зарядження відбувається протягом дня	
Використання акумуляованої енергії для зниження пікового навантаження	Приватні (фізичні) особи, домогосподарства	Покриття піку відбувається у вечірні години, потрібні незначні потужності	– достатня потужність – маневреність
	Юридичні особи (компанії)	Час покриття піку невизначений, можуть знадобитися більші потужності	

Таблиця 5.6 - Фактори ринкового середовища

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
Формування ціни на електроенергію	Ціна не буде формуватися на основі потужності	Відсутність стимулу купувати продукцію
Низький дохід населення	Зниження зацікавленості до електромобілів, та їх недоступність	Низький попит на продукцію
Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція
Ціна на електромобілі	Зниження мита на	Зростання попиту на

	електромобілі	продукцію
Ціна на викопне паливо	Зростання вартості палива	

Детальніший аналіз за моделлю М. Портера наведено в таблиці 5.7.

Відповідно до результатів проведеного вище аналізу, складено перелік факторів конкурентноспроможності (таблиця 5.8). Результати представлено у вигляді SWOT-аналізу проекту, наведеного у таблиці 5.9.

Таблиця 5.7 - Аналіз конкуренції в галузі

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Висновки	Відсутні	При встановленні ціни на електроенергію як функції від потужності, з'являться рівні можливості для виходу на ринок для всіх	Енергетичні компанії, та ціни на електроенергію значною мірою впливають на умови роботи та попит на продукцію	Клієнти не можуть значною мірою диктувати умови роботи	За відсутності стимулу у вигляді залежної ціни на електроенергію, звичайні зарядні пристрої на електромобілі можуть мати вищий попит

Таблиця 5.8 – Обґрунтування факторів конкурентноспроможності

№ п/п	Фактор	Обґрунтування
1	Потужність приладу	Залежить від потреб клієнтів та впливає на вартість, а також визначає вимоги до мережі
2	Доступність мереж	Відстань до мережі, де можливе підключення заданої потужності визначає вартість проекту
3	Функція ціни на електроенергію	Сценарій ціноутворення визначає доцільність та терміни окупності проекту

Підсумовуючи сильні та слабкі сторони даного проекту слід обрати альтернативу ринкового впровадження. Таким чином, реалізація даного проекту можлива після запровадження функції ціни на електроенергію, залежної від потужності.

Базовим типом зарядних пристроїв є однофазні та трифазні, невеликої потужності розраховані на зарядку одного електромобіля протягом кількох годин. Таким чином, буде запропоновано 2 варіанти реалізації, остаточний вибір здійснюється залежно від умов конкретного випадку.

Таблиця 5.9 - SWOT- аналіз впровадження проекту.

<b>S (сильні сторони)</b>	<b>W (слабкі сторони)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- наразі проект не має конкурентів аналогів;</li> <li>- наявна значна кількість потенційних клієнтів;</li> <li>- необхідні технології наявні на сьогодні;</li> <li>- незначні початкові капіталовкладення.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- залежність від можливостей прокладених електромереж;</li> <li>- необізнаність покупців;</li> <li>- реалізується лише за наявності електромобіля в домогосподарстві.</li> </ul>
<b>О (можливості)</b>	<b>Т (загрози)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- зростання попиту на електромобілі;</li> <li>- комбінація проекту з ВДЕ та розширення асортименту.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- зниження доходів потенційних споживачів</li> <li>- активізація конкуренції</li> <li>- ціна на електроенергію не стимулюватиме споживачів до зниження пікового навантаження.</li> </ul>

#### 5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку. Опис цільових груп потенційних споживачів здійснено в таблиці 5.10.

Так, як обрано зосередитися на одному сегменті, то стратегія проекту буде концентрованою. У ролі стратегії розвитку, обрано стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача

відмітних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях товару, бути реальною або уявною. Інструментом реалізації стратегії диференціації є ринкове позиціонування.

Таблиця 5.10 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Цільові групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Приватні особи	Потенційна готовність	Середній	Слабка	Просто
Підприємства, офіси	Потенційна готовність	Низький	Слабка	Середньої складності
Які цільові групи обрано: Приватні особи				

Даний проект є так званим «першопрохідцем» на ринку. Клієнтами та споживачами є всі власники електромобілів та потенційні власники. На цій основі, стратегією конкурентної поведінки є стратегія лідера.

В цьому випадку компанія займається реалізацією заходів по формуванню попиту (навчанню споживачів користуванню товаром, формування регулярного попиту, збільшення разового споживання), також пропаганду нових напрямів застосувань існуючих товарів, виявлень нових груп споживачів. Така стратегія можлива тільки на початкових стадіях життєвого циклу товару, коли попит ще є розширюваним, а взаємний тиск конкурентів ще невеликий. Інакше фірмі лідерів необхідно приймати оборонну або наступальну стратегію.

### 5.5 Маркетингова програма стартап-проекту

Для формування маркетингової концепції товару, який отримує споживач, всі результати конкурентоспроможності зведено до таблиці 5.11.

Трирівнева маркетингова модель товару може бути представлена наступним чином.

1. Товар за задумом: Зарядний пристрій для автомобіля із можливістю споживання накопиченої енергії для потреб домогосподарства
2. Товар у реальному виконанні передбачає наступні характеристики:
  - максимальна потужність, Вт;
  - номінальна напруга, В;
  - максимальний струм, А;
  - відповідні сертифікати та стандарти.
3. Товар із підкріпленням передбачає послуги по встановленню, монтажу, сервісні послуги та послуги обслуговування.

Таблиця 5.11. Визначення ключових переваг концепції товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
Зарядження електромобілів	Швидкий, зручний, безпечний процес зарядження	З точки зору саме зарядки, продукт є аналогічним до конкурентів
Накопичення енергії	Використання акумулятора автомобіля	Додаткове використання можливостей батарей електромобіля коли він не використовується
Зменшення пікового навантаження	Використання акумуляованої енергії	Немає необхідності додатково купувати акумулятори

Рівень цін на товар визначатиметься після того, як відбудуться зміни на ринку електричної енергії, та з'явиться доцільність виробляти та продавати



продукцію. Крім того, слід згадати, що вартість продукту значною мірою залежить від доступності підключення до мережі. Важливим кроком є визначення системи збуту, в межах якої приймаються рішення. Збут варто проводити через посередників, глибину каналів збуту описано в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Формування системи збуту

Специфіка поведінки клієнтів	закупівельної потенційних	Функції збуту постачальника	Глибина каналу замовника	Оптимальна система збуту
Можливість купівлі як додаткової послуги під час будівництва будинку		Переконати на доцільності впровадження опції	Представник компанії присутній в глобальних будівельних компаніях	Через посередників
Можливість купівлі продукту як додаткової послуги під час купівлі електромобіля		Довести переваги продукту	Представник компанії присутній в дилерських мережах	
Купівля продукту як основна мета		Надати перелік переваг продукту	Присутній регіональний представник	

Таблиця 5.13 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Купівля продукту як додатку	Брошури, листівки	Необхідність використання даного продукту	Переконати в доцільності	Простота, дешевизна, економія
Купівля продукту як	Інтернет, телебачення		Сповістити про переваги	

основного товару				
---------------------	--	--	--	--

### **Висновки:**

В даному розділі було проаналізовано економічні аспекти доцільності впровадження стартап-проекту, його технічні особливості та альтернативні можливості реалізації продукту. Також було звернено увагу на потенційний ринок реалізації, клієнтів та маркетингові стратегії розвитку. Таким чином можна відзначити наступні факти:

1. Наразі ринок реалізації відсутній, проте існує перспектива стрімкого зростання попиту після зміни порядку формування ціни на електроенергію.
2. Існують хороші перспективи реалізації проекту в першу чергу серед власників приватних домогосподарств.
3. В подальшому існують пріоритетні шляхи розвитку продукту в поєднанні з ВДЕ та пошук клієнтів серед підприємств та офісів.
4. Стратегією конкурентної поведінки обрано стратегію лідера.
5. Реалізацію продукту обрано здійснювати за допомогою посередників.

## ВИСНОВКИ

Дана робота була виконана з урахуванням світових тенденцій на ринку електроенергетики, а саме: збільшення обсягів попиту на електроенергію та зростання генерації з ВДЕ. Зростання споживання призводить до зростання піків енергонавантаження. Дане питання постає гостро для енергогенеруючих компаній, адже призводить до збільшення вартості енергії. Таким чином виникає необхідність керування попитом задля зниження піків та вирівнювання графіків навантаження.

Крім того, важливим є прогнозування та планування роботи електроприладів, як в короткотривалій так і в довготривалій перспективі. Прогнозні значення використовуються енергетичними компаніями для встановлення операційних планів електростанцій, а також вирішення питань безпеки. Генерація електроенергії з відновлюваних джерел додає проблем, так як обсяги виробництва є нерегульованими. Відповідно регульоване та прогнозоване навантаження відіграє все більшу роль у роботі енергосистеми.

Очікується, що в майбутньому електроенергетичні компанії почнуть стягувати змінну ціну на електроенергію, яка пов'язана з реальною виробничою вартістю. Це форма управління попитом, оскільки, як тільки ці динамічне ціноутворення застосовуватимуться, користувачі намагатимуться скористатися найнижчими цінами та уникнути пікових значень. Результати цього майбутнього створення були досліджені в даній роботі з використанням теорії ймовірності. В процесі проведення дослідження отримано наступні висновки.

1. Використано методи системного підходу, порівняльного аналізу, сценарного підходу, прогнозування, комп'ютерного моделювання, SWOT-аналізу, а також елементи статистичних методів.
2. Розглянуто можливість прогнозування поведінки споживачів за допомогою теорії ігор. З цією метою було визначено математичну модель поведінки, та її складові: гравці, функція корисності та можливі стратегії поведінки. Через складність розрахунків, необхідність збору

інформації в реальному часі та високу вартість реалізації, дана ідея була відкинута.

3. Для аналізу споживання електроенергії домогосподарствами було створено комп'ютерну модель з переліком споживачів. Для функціонування моделі також є необхідною інформація про рівні потужності пристроїв та орієнтовний (можливий) час роботи. Остаточний процес моделювання відбувається за допомогою теорії ймовірності.
4. Розроблено та проаналізовано кілька сценарії поведінки споживачів. Серед них: базовий – коли споживачі використовують електричну енергію виходячи лише з питань забезпечення комфорту; з наявністю електромобілів – частина споживачів має в розпорядженні електромобілі, які заряджаються вночі; зі зміщуваним навантаженням – споживачі переміщують частину навантаження на нічні години; сценарій з акумуляцією енергії – акумулятори електромобілів забезпечують можливість використання накопиченої в них енергії для покриття піків.
5. Оцінено ефект переміщення навантаження на нічний період та використання батарей електромобілів для накопичення енергії.
6. Запропоновано використання моделі для прогнозування енергетичного навантаження протягом доби для домогосподарств.
7. Показано можливості розширення та доповнення моделі.
8. Представлено можливості оцінки впливу ВДЕ на графік енергонавантаження у вигляді встановлених СЕС в приватних домогосподарствах.
9. Запропоновано використання ідея прогнозування навантаження для операторів електричної мережі.
10. Розроблено стартап-проект, головною ідеєю якого є встановлення в приватних домогосподарствах станцій для зарядження електромобілів,

які в той же час можуть працювати у зворотному напрямі та забезпечувати живлення домогосподарства із батарей.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ







- 1.) Міжнародна енергетична агенція [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iea.org/>
- 2.) Demand side management in smart grid: A review and proposals for future direction. Linas Gelazanskas, Kelum A.A. Gamage
- 3.) Load curve classification for the evaluation of demand side management programs K Yumak , G Tosun , B Varlik and M Bağıryanik. Ankara, Turkey
- 4.) Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads Peter Palensky, Senior Member, IEEE, and Dietmar Dietrich, Senior Member, IEEE
- 5.) НЕК «УКРЕНЕРГО» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ua.energy>
- 6.) Economic and environmental implications of demand-side management options Amit Garg a,n , Jyoti Maheshwari , Diptiranjana Mahapatra, Satish Kumar
- 7.) Electric vehicle charge patterns and the electricity generation mix and competitiveness of next generation vehicles Taisuke Masuta, Akinobu Murata, Eiichi Endo
- 8.) Yale Environment 360 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://e360.yale.edu>
- 9.) Perspectives on Norway's supercharged electric vehicle policy Erik Figenbaum
- 10.) A review of demand-side management policy in the UK Peter Warren UCL Energy Institute, Central House, 14 Upper Woburn Place, London, UK
- 11.) Лімонова Л. О. Системний підхід як методологічна основа дослідження, аналізу та моделювання соціально-економічних систем [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dl.nure.ua>
- 12.) Сценарний аналіз як системна методологія передбачення / М.З. Згуровський // Систем. дослідж. та інформ. технології. — 2002. 1. С. 7-38.
- 13.) Основи методології та організації наукових досліджень: Навч. посіб. для студентів, курсантів, аспірантів і ад'юнтів / за ред. А. Є. Конверського. — К.: Центр учбової літератури, 2010. — 352 с. (С. 28-35)

- 14.) Янч Эрих. Прогнозирование научно-технического прогресса / Эрих Янч. – М. : Прогресс, 1974. – 264 с.
- 15.) Майсак О. С. SWOT-анализ: объект, факторы, стратегии. Проблема поиска связей между факторами // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2013. — № 1 (21). — С. 151—157
- 16.) Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. — 6-е изд. стер. — М.: Высш. шк., 1999.— 576 с.
- 17.) Marcelo Espinoza, Caroline Joye, Ronnie Belmans, Bart De Moor, "Short-Term Load Forecasting, Profile Identification and Customer Segmentation: A Methodology based on Periodic Time Series," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, no. 3, pp. 1622-1630, 2005.
- 18.) Waleed K. A. Najy, Jacob W. Crandall and H. H. Zeineldin, "A Critical Assessment of Cost-Based Nash Methods for Demand Scheduling in Smart Grids," arXiv:1306.0816 [cs.GT], June 2013.
- 19.) Zubair Md. Fadlullah, Minh Quan Duong, NeiKato and Ivan Stojmenovic, "A Novel Game-based Demand Side Management Scheme for Smart Grid," Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2013 IEEE, pp. 4677 - 4682, April 2013.
- 20.) Урядовий портал [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kmu.gov.ua/ua>
- 21.) НКРЕКП, Постанова від 29.12.2017 № 1609 "Про встановлення "зелених" тарифів на електричну енергію для приватних домогосподарств"
- 22.) Weather data and software for solar power investments [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [www.solargis.info](http://www.solargis.info)
- 23.) Методичні вказівки з організаційних питань магістерської роботи за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування. Спеціалізація - "Інструментальні системи та технології формоутворення деталей".[Текст] / Уклад.: В.А.Пасічник, В.І.Солодкий, О.В. Глоба,. КПІ ім. І.Сікорського. – 2016, – 64 с.


## ДОДАТКИ

## Додаток А

## Параметри повністю електричних автомобілів

Автомобіль	Фото	Запас ходу, км	Ємність батареї, кВт·год	Можливість швидкого заряду
Nissan Leaf		172	30	Так
Mitsubishi i-Miev		100	16	Так
Tesla Model S		473	90	Так
Nissan e-NV200		121	24	Так
Tesla Model X		413	90	Так
Renault Zoe		170	22	Ні



VW e-Golf		133	24	Так
Tesla Model 3		346	75	Так
Renault Kangoo		120	22	Ні
BMW i3		183	33	Додаткова опція

## Додаток Б

## Програмний код середовища MATLAB

[illegible]







## Додаток В

### СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ В СФЕРІ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАЦІЇ

**Вступ.** Україна є енергодефіцитною країною, тому питання відновлюваної енергетики є для неї особливо актуальними. Розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є одним з пріоритетних напрямків енергетичної політики держави. Крім того, виконання міжнародних зобов'язань, що взяла на себе Україна зі вступом до Енергетичного Співтовариства, поміж інших важливих напрямів також передбачає розвиток відновлюваної енергетики, зокрема, в сфері електрогенерації. Досягнення прогнозних показників розвитку відновлюваної енергетики в країні, які затверджені Урядом в Національному плані дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року (НПВДЕ), залежать від низки умов. Крім необхідності вдосконалення нормативно-правової бази, створення ефективних механізмів залучення інвестицій, до не менш важливих умов розвитку вітчизняного ринку технологій з ВДЕ відноситься підвищення інформованості інвесторів та споживачів як про потенціал, так і про наявний стан використання в країні технологій з ВДЕ.

**Мета роботи:** оцінка стану виконання показників НПВДЕ і створення інтерактивної карти об'єктів відновлюваної енергетики України для моніторингу введення в експлуатацію електростанцій з ВДЕ та їх розподілу за регіонами країни.

**Основний зміст.** Оцінка стану виконання показників НПВДЕ проводилась шляхом порівняльного аналізу річних прогнозних та фактичних показників встановленої потужності та обсягів виробництва електроенергії з кожного джерела відновлюваної енергії. Для проведення аналізу була сформована відповідна інформаційна база, що вміщувала дані НПВДЕ<sup>1</sup> та НКРЕКП<sup>2</sup> України (Табл.1).

Таблиця 1 - Прогнозні<sup>1</sup> та фактичні<sup>2</sup> показники встановленої потужності та обсягів виробництва електроенергії технологіями з ВДЕ, що працюють за «зеленим» тарифом; 2014-2016 рр.

Тип технології з ВДЕ	Встановлена потужність, МВт		Обсяги виробництва електроенергії, ГВт·год	
	Прогнозна	Фактична	Прогнозні	Фактичні
2014 р.				
Малі гідроелектростанції	28	80,269	65	250,677
Сонячні фотоелектростанції	860	411,585	900	485,232
Вітрові електростанції	700	426,125	1680	1171,463
Тверда біомаса	28	35,200	105	60,914
Біогаз	12	18,358	45	39,342
Всього:	1628	971,537	2795	2007,628
2015 р.				
Малі гідроелектростанції	33	86,861	75	171,553
Сонячні фотоелектростанції	1000	431,743	1050	475,170
Вітрові електростанції	1000	426,125	2400	937,706
Тверда біомаса	175	35,200	770	76,802
Біогаз	75	17,239	330	64,393
Всього:	2283	997,168	4625	1725,624
2016 р.				
Малі гідроелектростанції	37	90,021	85	189,330
Сонячні фотоелектростанції	1250	530,886	1310	492,154
Вітрові електростанції	1350	437,725	3240	924,483
Тверда біомаса	260	38,700	1180	80,379
Біогаз	120	20,359	500	88,610
Всього:	3017	1117,691	6315	1774,956

<sup>1</sup> Дані НПВДЕ за посиланням на Розпорядження Кабінету України <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-p>.

<sup>2</sup> Дані НКРЕКП України, отримані на підставі запиту на одержання публічної інформації за №3871/1-17 від 9.03.2017.

При формуванні бази даних з показників функціонування об'єктів електрогенерації на основі ВДЕ були задані наступні обмеження: база даних включала показники об'єктів ВДЕ, що працюють за «зеленим» тарифом в період 2014-2016 рр.

Попередній аналіз прогнозних показників НПВДЕ показав, що впродовж 2014-2020 рр. встановлена потужність і обсяги електроенергії, виробленої електростанціями відновлюваної енергетики за кожним типом технологій з ВДЕ, мали б щорічно зростати. Втім, за результатами проведеного дослідження фактичних показників така зростаюча тенденція не була виявлена. Станом на 2014 р. фактична сукупна встановлена потужність електростанцій з ВДЕ становила 59,7% від прогнозованої величини, а обсяги виробленої електроенергії – 71,8%. У 2015 р. фактична загальна встановлена потужність електростанцій становила 43,7% від прогнозованої, а обсяги генерації електроенергії – 37,3%. У 2016 р. сукупна встановлена потужність склала 37% від прогнозованої, а обсяг електроенергії, що виробилась – 28,1%.

Для виконання поставленої у роботі мети щодо моніторингу введення в експлуатацію електростанцій з ВДЕ та їх розподілу за регіонами країни були застосовані технології картографічних веб-платформ. Тематичну інтерактивну карту об'єктів відновлюваної енергетики України було створено на базі сучасних картографічних веб-ресурсів. Принципом побудови архітектури інтерактивних карт є отримання інформації з різних джерел та її візуалізація у вигляді багаторівневого масиву даних. За допомогою картографічного веб-сервісу Google Maps створено багатоцільову, відкриту карту об'єктів відновлюваної енергетики України. Ця інтерактивна карта вміщує дані щодо кількості, потужності, типу електростанцій (сонячних, вітрових, біогазових електростанцій, міні-, мікро- та малих гідроелектростанцій (ГЕС), а також електростанцій, що працюють на біомасі). Дані розміщуються у вигляді інформаційних шарів відповідно до зазначених об'єктів відновлюваної енергетики (рис. 1).

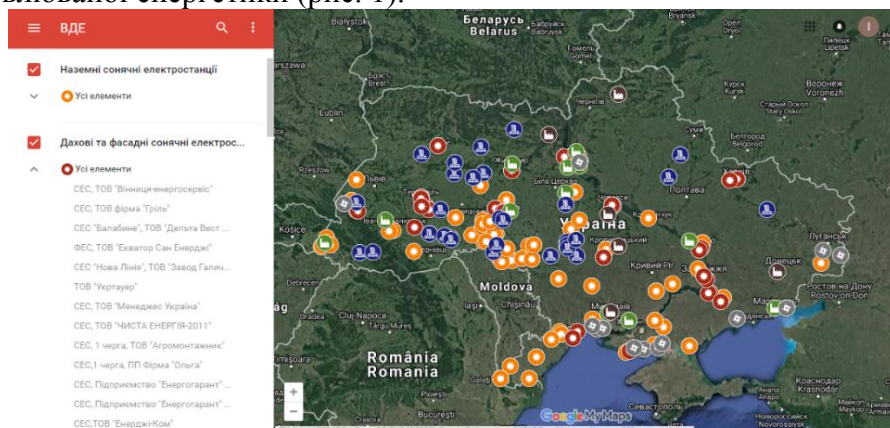


Рис.1. Інтерактивна карта об'єктів відновлюваної енергетики України (2016 р.)

Застосування такої карти надає користувачу детальну інформацію про характеристики об'єктів щодо встановленої потужності, дати встановлення дії «зеленого» тарифу, виробітку електроенергії, адреси, дати початку дії ліцензії тощо. Дані інтерактивної карти можуть додаватися та оновлюватися у режимі реального часу. Розроблений тематичний інформаційний ресурс дозволяє отримати порівняльну характеристику об'єктів відновлюваної енергетики за їх кількістю, потужністю та розподілом за регіонами країни. Як можна побачити, сонячні електростанції найбільш інтенсивно впроваджуються у південній та центральній частині України, малі ГЕС – у північному та західному регіоні, вітрові – на півдні, а генерація електроенергії з біомаси та біогазу – по всій території країни.

**Висновки.** За результатами проведеної оцінки виконання показників НПВДЕ можна зазначити, що станом на 2016 р. розвиток відновлюваної енергетики не здійснювався відповідно до прогнозних темпів зростання. Для проведення моніторингу з фактичного стану ВДЕ та підвищення інформованості інвесторів і споживачів щодо регіонів потенційного попиту на технології ВДЕ створено багатоцільову, інтерактивну карту об'єктів відновлюваної енергетики України в середовищі картографічного веб-сервісу Google Maps.